

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES DE LAS
REDES INTELIGENTES RESIDENCIALES APLICADO A UNA FUTURA RED
ELÉCTRICA EN BUCARAMANGA**

**ANDRÉS DAVID PÁEZ ARIZA
ANDRÉS ALFREDO GARCÍA DELGADO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES DE LAS
REDES INTELIGENTES RESIDENCIALES APLICADO A UNA FUTURA RED
ELÉCTRICA EN BUCARAMANGA**

**AUTORES:
ANDRÉS DAVID PÁEZ ARIZA
ANDRÉS ALFREDO GARCÍA DELGADO**

**Trabajo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Electricista.**

**DIRECTOR
MANUEL JOSÉ ORTÍZ RANGEL
Ingeniero Electricista, MS.c**

**CODIRECTOR
GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Ingeniero Electricista, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, el cual me dio las fuerzas necesarias para luchar por esta meta y me demuestra fielmente su amor.

A mi madre Belcy, por brindarme el empuje necesario para afrontar los momentos de dificultad, por su amor, entrega, cariño y consejos.

A mi padre Oscar, por demostrarme que con esfuerzo y dedicación todo se puede lograr, por su apoyo incondicional, consejos, amor y ser mi amigo.

A mi hermanita Marce, por su cariño, compañía y por ser mi principal motivación a convertirme en un gran ejemplo para ella.

A Vivian por su paciencia, amor y ser parte de mis días, gracias por fortalecerme y respaldar mi desarrollo profesional y personal.

A mi nonita Paula, ejemplo de entereza, fortaleza y sabiduría.

A mi tío Iván, por esos gratos recuerdos de mi infancia que me enseñaron a valorar la unión familiar y que jamás olvidaré.

A mis tíos Amparito y Oscar por su invaluable e incondicional apoyo. Igualmente a mis tíos Mayita, Freddy y Tony.

A toda mi familia.

A mi compañero y amigo Andrés Páez, que conformamos un buen equipo de trabajo en la construcción de este proyecto.

A mis amigos con los cuales compartí extraordinarias experiencias durante el desarrollo de mi carrera, esos recuerdos los tendré siempre presentes.

A todos mis más sinceros agradecimientos.

Andrés Alfredo García Delgado.

DEDICATORIA

A mi padre DIOS porque en los momentos más difíciles de mi carrera, siempre vi su mano poderosa y su amor incondicional, toda la gloria y honra sea para EL.

A mis padres Enrique Páez Gómez y María Cristina Ariza Caicedo por su incondicional apoyo, entrega y amor en este proceso, este triunfo les pertenece a ellos, gracias por enseñarme el trabajo honesto, disciplina y la perseverancia para lograr alcanzar los sueños.

A mi hermano Sergio Páez que con su ejemplo me enseñó a luchar y trabajar por cada meta y objetivo trazado.

A mi hermano Javier Páez que siempre estuvo pendiente de mí, ayudándome y motivándome a ser cada día el mejor, sé que en el cielo hay una fiesta grande por este triunfo, te lo dedico con todo mi corazón.

A mi tía Gloria Ariza que realmente es mi segunda madre por su dedicación, ayuda y servicio durante este camino a la vida profesional que DIOS la bendiga grandemente.

A toda mi familia por todo su respaldo y apoyo durante este proceso.

A Jessica Correa por toda su ayuda y apoyo durante toda la carrera, gracias porque en los momentos más complicados siempre tuvo una voz de aliento para motivarme a conseguir la meta.

A mis compañeros de estudio por sus enseñanzas y apoyo durante toda la carrera.

A mi compañero de proyecto de grado y gran amigo Andrés García por toda la ayuda durante la elaboración del proyecto, por las enseñanzas y por el buen trabajo en equipo, un gran ser humano.

Andrés David Páez Ariza.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo de grado, al Director de esta investigación, el MIE Manuel José Ortiz Rangel y al Codirector, el PhD Gabriel Ordoñez Plata, por la orientación y supervisión de este proyecto.

De manera especial, agradecemos al Doctor Renato Céspedes actual Coordinador Técnico de Colombia Inteligente por su invaluable aporte de conocimiento y disposición en la solución de nuestras inquietudes y sugerencias sobre este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN	25
2. OBJETIVOS	26
3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE LA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE.	27
3.1 RED ELÉCTRICA INTELIGENTE (SMART GRID).	27
3.2 MODELO CONCEPTUAL DE SMART GRID.	32
3.3 DISPOSITIVOS DE LAS REDES INTELIGENTES.	34
3.3.1 Medidor inteligente.	34
3.3.2 Sensores inteligentes.	35
3.3.3 Unidad de medición fasorial (PMU)	37
3.3.4 Micro-red inteligente.	37
3.4 COMUNICACIÓN DE LA RED INTELIGENTE.	38
3.4.1 Requerimientos de comunicación.	39
3.4.2 Tecnologías de comunicación disponibles.	40
3.5 INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA	48
3.5.1 Análisis de las características y funciones del AMI.	50
3.5.2 Requisitos del AMI.	52
3.5.3 Componentes del AMI	53
3.6 HOGAR INTELIGENTE (SMART HOME)	54
3.7 SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO DEL HOGAR (HEMS).	56
3.7.1 Características de los sistemas de gestión energética HEMS.	58
3.7.2 Red de comunicación residencial.	59
3.7.3 Información en HEMS.	63
3.7.4 Componente ontológico.	64
3.7.5 Actividades de la vida diaria (ADL).	65

4. SERVICIOS CONTEXTUALES ENTORNO A UNA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE RESIDENCIAL.	67
4.1 APLICACIONES DE FUNCIONALIDAD EN UN HOGAR INTELIGENTE.	68
4.2 GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN LA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE RESIDENCIAL.	69
4.3 GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA AVANZADA DE MEDICIÓN (AMI).	70
4.3.1 Sistema de gestión de datos de medición (MDM).	72
4.3.2 Sistema de información del consumidor (CIS).	73
4.4 INICIATIVA BOTÓN VERDE (GREEN BUTTON).	74
4.4.1 Especificaciones y estándares.	75
4.4.2 Desarrollo de la iniciativa botón verde.	79
4.4.3 Información sobre el uso de energía (EUI).	82
4.5 SERVICIOS BASADOS EN MEDICIÓN INTELIGENTE PARA USUARIOS RESIDENCIALES.	86
4.5.1 Respuesta a la demanda (DR).	86
4.5.2 Facturas de servicios públicos.	86
4.5.3 Control de carga directa (DLC).	88
4.5.4 Energía prepagada.	88
4.6 SERVICIO SENSIBLE AL CONTEXTO.	88
4.6.1 Definición de contexto.	89
4.6.2 Predicción de eventos.	92
4.6.3 Clases de contextos.	92
4.6.4 Características y atributos de los servicios sensibles al contexto.	94
4.7 SOFTWARE Y PLATAFORMAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS EN LA RED INTELIGENTE RESIDENCIAL.	98
4.7.1 Plataforma OSGi (Open Services Gateway initiative).	98
4.7.2 SOA (Service oriented architecture).	98
4.8 ALGUNOS EJEMPLOS DE SERVICIOS SENSIBLES AL CONTEXTO.	99
4.8.1 Calendario orientado a servicios en el hogar inteligente.	99
4.8.2 Servicios de notificación.	100

4.9	SERVICIOS DE LA “NUBE”.	102
5.	VIABILIDAD DE LA LINEA DE NEGOCIOS DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES.	104
5.1	MOTIVACIÓN HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES.	106
5.2	EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES.	111
5.2.1	Beneficios del consumidor	111
5.2.2	Beneficios de la empresa de servicios públicos	111
5.2.3	Beneficios de terceros.	113
5.3	BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES.	113
5.3.1	Barreras técnicas.	114
5.3.2	Barreras económicas.	114
5.3.3	Barreras políticas y regulatorias.	115
5.3.4	Barreras sociales y culturales	116
5.4	ESCENARIOS DE LOS NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO.	116
5.4.1	Integrador Inteligente (SI)	118
5.4.2	Empresa de Servicios de Energía (ESU).	119
6.	CONCEPTUALIZACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES EN EL ENTORNO REGIONAL.	121
6.1	INICIATIVAS DE LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) EN DIFERENTES CIUDADES DEL MUNDO.	122
6.1.1	Holanda.	123
6.1.2	Bélgica.	123
6.1.3	Turquía.	124
6.1.4	España.	124
6.1.5	Alemania.	124
6.1.6	India.	125
6.1.7	Pakistán.	125
6.1.8	Nueva Zelanda.	125
6.2	IMPLEMENTACIÓN DEL GREEN BUTTON EN LOS ESTADOS UNIDOS.	126

6.3	IMPLEMENTACIÓN DEL GREEN BUTTON EN LA INDIA.	128
6.3.1	Caso de estudio: MSEDCL para Implementación del Green Button.	129
6.3.2	Ejemplos de los formatos del Green Button.	131
6.3.3	Problemas de aplicación.	132
6.3.4	Herramienta de educación del Green Button (GamBIT).	133
6.4	GRUPOS DE ESTÁNDARES DEL GREEN BUTTON.	134
6.4.1	OpenADE	134
6.4.2	PAP 10	135
6.4.3	NAESB ESPI	135
6.4.4	PAP 20	136
6.4.5	Ventajas de las normas del Green Button para los consumidores.	136
6.5	APROXIMACIÓN A UNA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DEL GREEN BUTTON EN COLOMBIA.	137
6.5.1	Iniciativa Colombia inteligente.	138
6.5.2	Colombia avanza.	139
6.5.3	EPSA.	140
6.5.4	ELETRICARIBE.	140
6.5.5	EMCALI.	141
6.5.6	Marco normativo.	143
6.5.7	Etapas para la implementación del Green Button	149
7.	CONCLUSIONES	154
8.	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	157
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	160
	BIBLIOGRAFIA	171

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Porcentajes de participación por tipo de planta generadora de energía eléctrica en el mes de agosto de 2014.	18
Figura 2. Red Eléctrica Convencional Vs Red Eléctrica Inteligente.	20
Figura 3. Características de una red eléctrica inteligente.	28
Figura 4. Interacción entre los dominios de Smart Grid a través de comunicación segura.	32
Figura 5. Escenario de uso típico para el medidor inteligente.	35
Figura 6. Principales topologías de una WSN.	36
Figura 7. Clasificación de tecnologías de comunicación en la red eléctrica inteligente.	41
Figura 8. Arquitecturas WiMAX. a) Modo PMP. b) Modo malla.	44
Figura 9. Evolución de las tecnologías de medición.	48
Figura 10. Principales ventajas del AMI.	50
Figura 11. Principales componentes del AMI.	53
Figura 12. Concepto de la tecnología de un hogar inteligente.	55
Figura 13. Arquitectura del HEMS.	57
Figura 14. HAN operando en HEMS.	58
Figura 15. Integración de los sistemas AMI y MDMS.	73
Figura 16. Estructura propuesta por el estándar ESPI.	76
Figura 17. OpenADE sub-grupo de trabajo de OpenSG.	78
Figura 18. Requisitos de la tecnología botón verde.	80
Figura 19. Integración del botón verde con la red eléctrica en el dominio del consumidor.	81
Figura 20. Vías alternativas de EUI y formato único de información.	84
Figura 21. Integración de los diferentes formatos XML al formato HTTP del portal Web.	85

Figura 22. Niveles de abstracción necesarios para el sistema de sensibilidad de contexto.	90
Figura 23. Arquitectura de percepción de contexto.....	91
Figura 24. Clasificación del contexto.....	93
Figura 25. Características y atributos de calidad de los servicios inteligentes.....	95
Figura 26. Arquitectura del servicio de calendario sensible al contexto.	100
Figura 27. Diseño básico de la arquitectura de servicio de notificación.	101
Figura 28. Infraestructura de los servicios de la nube.....	102
Figura 29. Emisión de gases de efecto invernadero.	105
Figura 30. Relación entre Estructura económica-Regulatoria-Modelo de negocio en la industria eléctrica.	117
Figura 31. Países en los cuales se ha implementado medición avanzada inteligente.	122
Figura 32. Implementaciones en diferentes regiones de Estados Unidos.....	128
Figura 33. Aplicación del organigrama del Green Button.....	130
Figura 34. Captura de pantalla del portal de MSEDCL del Green Button.	131
Figura 35. Estado de desarrollo EMCALI.....	141
Figura 36. Arquitectura de interoperabilidad del Green Button.	152

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Incremento de la demanda entre los años 2012-2014.....	19
Tabla 2. Comparación superficial de las características entre los dos tipos de redes.....	29
Tabla 3. Comparación detallada de características.....	30
Tabla 4. Dominios y actores en el modelo conceptual NIST.	33
Tabla 5. Distribución de capas del AMI.	54
Tabla 6. Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según dominio.	60
Tabla 7. Tecnologías más relevantes para implantar a nivel de HAN en una Smart Grid.	61
Tabla 8. Información del sistema de gestión energética residencial HEMS.	64
Tabla 9. Información relevante del estándar ANSI C12.19-2008.....	71
Tabla 10. Interfaces de los componentes: Custodio de datos y los terceros.	77
Tabla 11. Descripción de los botones de descarga y autorización de acceso a datos.	82
Tabla 12. Organización para describir el entorno inteligente.....	92
Tabla 13. Factores motivadores de las red inteligente en el mundo.....	106
Tabla 14. Aplicaciones de proveedores autorizados de PG&E.	110
Tabla 15. Beneficios de proveedores de servicios públicos por parte del portafolio de servicios de VENTYX.....	112
Tabla 16. Algunas políticas implementadas entorno a la red eléctrica inteligente.	115
Tabla 17. Diferencias entre los modelos de integrador inteligente y ESU.	118
Tabla 18. Cantidad estimada de medidores inteligentes en los diferentes estratos.	143

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES DE LAS REDES INTELIGENTES RESIDENCIALES APLICADO A UNA FUTURA RED ELÉCTRICA EN BUCARAMANGA*

AUTORES: ANDRÉS DAVID PÁEZ ARIZA,
ANDRÉS ALFREDO GARCÍA DELGADO**

PALABRAS CLAVES: Red eléctrica inteligente, Servicios contextuales, Infraestructura de medición avanzada AMI, Sistema de gestión energética residencial HEMS, Iniciativa Green Button.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto de grado se presenta un estudio de la capacidad de los servicios conceptuales de las redes inteligentes residenciales aplicado a una futura red eléctrica en la región. La elaboración de este proyecto de investigación se basó en un proceso de clasificación y selección de los artículos y las publicaciones más relevantes entorno a los servicios desarrollados a partir de la red eléctrica inteligente residencial. Para el proceso de selección se realizó la búsqueda en la base de datos IEEE, la página Web del GREEN BUTTON y empresas que han implementado esta iniciativa donde se analiza el contenido de cada publicación con el fin de clasificar la información útil y descartar aquella de menor importancia.

Se pretende dar una visión general sobre los servicios contextuales más comunes que se pueden implementar en una red eléctrica inteligente doméstica, partiendo de la descripción de los principales componentes de medición y de comunicación que conforman la estructura de la red inteligente y el hogar inteligente, resaltando la importancia de la infraestructura de medición avanzada (AMI) y los dispositivos inteligentes como base en la gestión de la información para el desarrollo de los servicios complementarios hacia el usuario final. Además se hace un análisis sobre la viabilidad de la línea de negocios de los servicios contextuales partiendo de una evaluación sobre la motivación, los beneficios del consumidor, de las empresas de servicios públicos y de terceros seleccionando como base las medidas implementados por empresas extranjeras reconocidas a nivel mundial. También se describe y se analiza la necesidad de estudiar proyectos implementados en otras ciudades del mundo, con el fin de observar y extraer los conceptos más relevantes, para una futura implementación a nivel nacional y regional, teniendo en cuenta aspectos de tipo económico, político, social, tecnológico y normativo para su posible desarrollo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE ABILITY OF CONTEXTUAL SERVICES OF INTELLIGENT RESIDENTIAL NETWORKS APPLIED TO A FUTURE IN MAINS BUCARAMANGA *

AUTHORS: ANDRÉS DAVID PÁEZ ARIZA
ANDRÉS ALFREDO GARCÍA DELGADO**

KEY WORDS: Smart Grid, Contextual Services, Advanced Measurement Infrastructure (AMI), Home Energy Management System (HEMS), Green Button initiative.

DESCRIPTION: A study of the ability of residential smart grid contextual services applied to future grid in the region is presented in this graduation project. The development of this research project was based on a process of ranking and selecting the most relevant articles and publications around the developed services from residential smart grid. For the selection process, IEEE data, GREEN BUTTON webpage and companies that have implemented this initiative, where the content of each analyzed issue in order to classify the useful information and disregard the least important one.

An overview of the most common contextual services that can be implemented in a intelligent domestic grid is pretended, beginning with the description of the main components of measurement and communication that make up the structure of the smart grid and smart home, highlighting the importance of Advanced Measurement Infrastructure (AMI) and smart devices as the basis for the information of management for the development of additional services to the latter user.

Further analysis of the feasibility of the business path of contextual services based on an assessment of the motivation, consumer benefits, selected utility and third parties measures implemented by recognize foreign companies worldwide is done. Description and analysis of implemented projects worldwide are done to observe and extract the most relevant concepts for future implementation at national and regional level, taking into account issues such as economic, political, social and technological aspects for its further development.

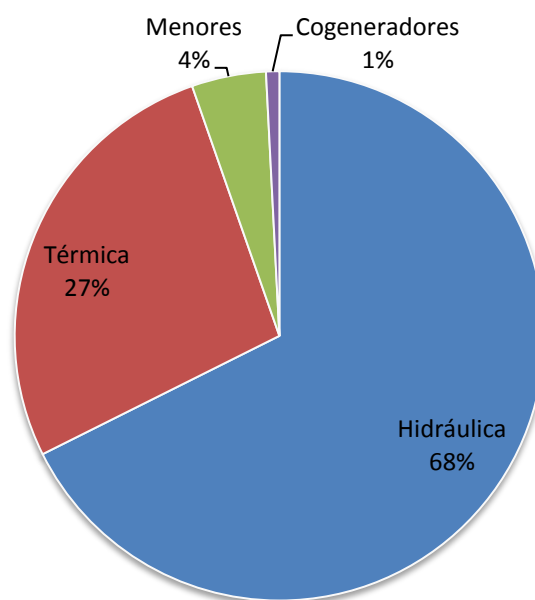
* Degree Work

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Electrical and Telecommunications Engineering, Electronics. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el sector eléctrico colombiano predomina la generación hidráulica con una participación del 67,62% en energía generada durante el mes de Agosto de 2014, seguido de la generación térmica con una participación del 27,02% [1]. La figura 1 muestra el porcentaje de participación de los diferentes tipos de plantas de generación de energía eléctrica en Colombia durante el mes de Agosto de 2014.

Figura 1. Porcentajes de participación por tipo de planta generadora de energía eléctrica en el mes de agosto de 2014.



Fuente: "Informe Ejecutivo (versión liquidación TXR) de Agosto de 2014" [En línea]. Disponible en Internet: http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/Ejecutivo_mes_AGOSTO_2014.pdf.

El alto porcentaje de participación hidráulica obedece a la explotación del alto potencial hídrico del país, sin embargo esto significa que ante una prolongada sequía no se garantizaría el suministro eléctrico nacional. Para contrarrestar dicha situación es necesario diversificar la generación de energía eléctrica dando la

posibilidad a fuentes renovables. Por otro lado, el incremento de la demanda en el sector residencial en los últimos dos años (ver tabla No.1) hace necesario promover la reducción del consumo energético en general.

Tabla 1. Incremento de la demanda entre los años 2012-2014.

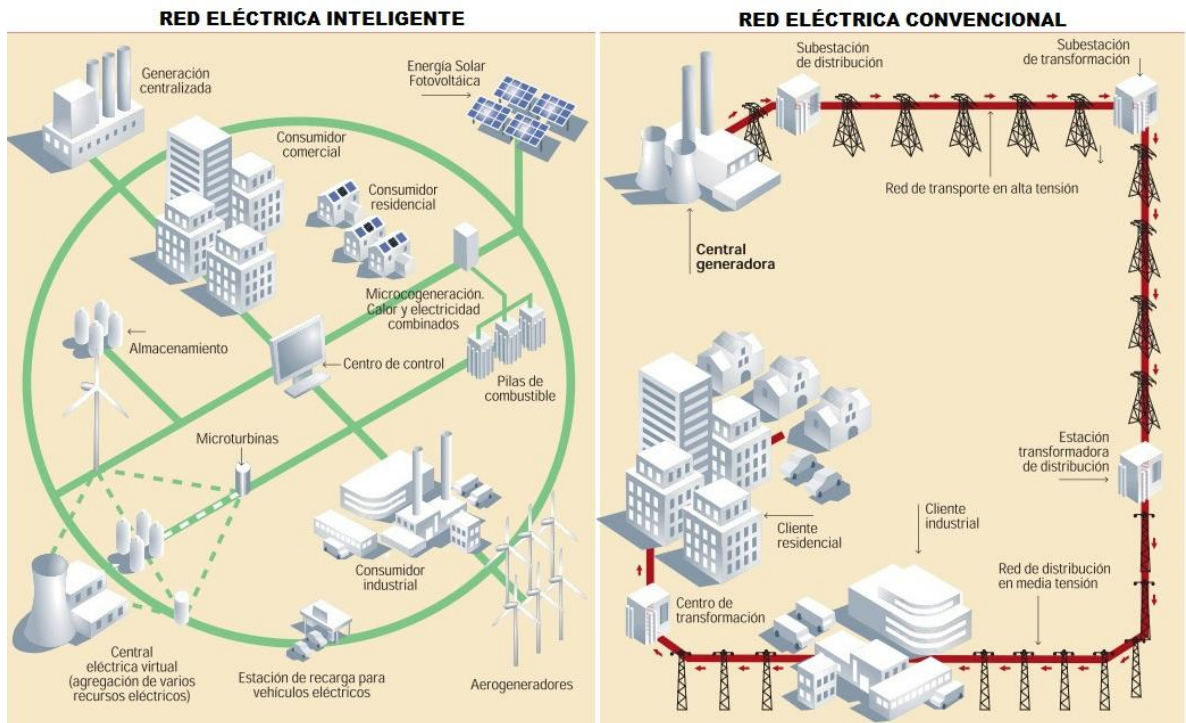
Usuario	ago-12	ago-14	Crecimiento
Regulado	3355,9	3613,3	7,12%
No Regulado	1700,8	1773,8	4,11%

Fuente: “Informe Ejecutivo (versión liquidación TXR) de Agosto de 2014” [En línea]. Disponible en Internet: http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/Ejecutivo_mes_AGOSTO_2014.pdf,
“Informe Ejecutivo (versión liquidación TXR) de Agosto de 2013” [En línea]. Disponible en Internet: http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/Ejecutivo_mes_AGOSTO_2013.pdf.

La red eléctrica convencional está compuesta por elementos de generación eléctrica, líneas de transporte de alta tensión, estaciones de transformación, líneas de distribución de media y baja tensión, y los clientes de uso final. En donde fluye la energía del generador al consumidor a lo largo del sistema como lo muestra la figura No.2 [2].

La utilización de las fuentes de energías renovables implica un cambio en la forma de la producción ya que las fuentes de energía distribuidas (DER) comienzan a implantarse en empresas y en los hogares para generar electricidad con la posibilidad de vender la energía excedente, modificando así el flujo de energía en la red de distribución. Por lo tanto la evolución del sistema eléctrico es necesaria para mejorar la eficacia de todo el sistema, así como mejorar la gestión en tiempo real del flujo de energía y proporcionar la medida bidireccional de los usuarios con opción de generación. Por lo tanto la tendencia actual es lo que se denomina Smart Grid ó red eléctrica inteligente que se ilustra en la parte izquierda de la figura No.2.

Figura 2. Red Eléctrica Convencional Vs Red Eléctrica Inteligente.



Fuente: “Diferencias entre Smart Grids y Redes Eléctricas Convencionales” [En línea]. Disponible en Internet: <http://globalelectricity.wordpress.com/2013/12/19/diferencias-entre-smart-grids-y-redes-electricas-convencionales/>

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA)¹, una Smart Grid es “una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y formas avanzadas de monitoreo y gestión de la distribución de electricidad desde todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de los usuarios. Coordina las necesidades y potencial de todos los generadores, operadores de red, consumidores y participantes del mercado para operar todo el sistema, lo más eficientemente posible, minimizando costos e impacto ambiental al tiempo que maximiza la confiabilidad, la capacidad de recuperación y la estabilidad” [3]. Además algunas ventajas que ofrece sobre una red eléctrica convencional son [2]:

¹ Organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para coordinar las políticas energéticas, con la finalidad de asegurar energía confiable, económica y limpia a sus Estados miembros.

- Facilitar la conexión y el funcionamiento de los generadores y cargas.
- Proporcionar a los consumidores mayor información y diferentes opciones de elección de la oferta.
- Reducir significativamente el impacto ambiental de todo el sistema de suministro eléctrico, optimizando el consumo.
- Ofrece mejoras de los niveles de fiabilidad y seguridad del suministro.

En la red inteligente, la funcionalidad sobre la capacidad de comunicación bidireccional entre la entidad comercializadora y el usuario por medio de medidores inteligentes, una interfaz con el consumidor y diferentes dispositivos de control permite la implementación de servicios contextuales² como la reducción del valor de la factura, auditoría energética, manejo de precios en tiempo real, asesorías de uso del vehículo eléctrico, entretenimiento, confort, etc., que brinden beneficios al usuario final, al operador de red y a terceros.

En los últimos años los servicios contextuales o complementarios en el entorno de las redes inteligentes han tenido un significativo desarrollo debido a la implementación de proyectos pilotos alrededor del mundo relacionados con el despliegue de las Smart Grids, entre los más importantes se encuentran: *Isla de Jejú* en Corea, *Smart City* en Málaga, *Ohio Grids Smart* en los Estados Unidos. Entre las iniciativas implementadas para el desarrollo de servicios complementarios se destaca el GREEN BUTTON³ desarrollado en los Estados Unidos por iniciativa del gobierno, la cual ofrece la oportunidad a terceros de desarrollar servicios complementarios hacia los consumidores por medio de la información sobre el consumo de energía (EUI) recolectada en la red inteligente mediante la infraestructura de medición avanzada (AMI). El desarrollo se gestionó

² Servicio contextual: Según el enfoque de las redes inteligentes, se relaciona al usuario como un agente activo de la red eléctrica, y se considera a éstos servicios contextuales como un complemento que permiten una amplia línea de negocios de forma bidireccional entre el consumidor final, el operador de red ó empresas de uso público ó privado.

³ Iniciativa desarrollada en el 2011 por el gobierno de los Estados Unidos junto con empresas de energía eléctrica del sector privado que permite ofrecer servicios contextuales a los consumidores a partir de la información sobre el uso de energía (EUI) recopilada en la AMI.

de manera conjunta entre organismos gubernamentales y sectores privados específicamente empresas de energía de la ciudad de San Diego, California, los cuales crearon grupos de estandarización con el fin de regular la iniciativa.

En el año 2012 esta iniciativa fue implementada por 47 empresas y 37 más se comprometieron con su ejecución beneficiando alrededor de 12 millones de consumidores⁴. Hoy son más de 150 empresas y cerca de 60 millones de hogares en Estados Unidos y 2.6 millones en Canadá⁵ que pueden utilizar el Green Button para acceder a sus propios datos de uso de energía eléctrica, y a un conjunto cada vez mayor de empresas que ofrecen productos, servicios y aplicaciones desarrolladas a partir de la información de ésta iniciativa.

Por otra parte, el desarrollo de las tecnologías de comunicaciones y dispositivos como sensores ofrecen nuevas alternativas de servicios a partir de la información recopilada del usuario por medio de la sensibilidad al contexto, es decir, la capacidad para caracterizar situaciones asociadas a las actividades de la vida diaria de los residentes del hogar inteligente y proveer los servicios que se ajusten a sus necesidades.

Este trabajo de investigación está organizado en 8 capítulos en los cuales se realiza la revisión bibliográfica, relacionada a los objetivos propuestos al inicio de este documento. Se describen los conceptos generales de una Smart Grid enfocada a la posibilidad de una nueva línea de negocio dada por servicios complementarios ya sea por la sensibilidad al contexto o por la iniciativa del GREEN BUTTON. De igual manera se presentan algunos ejemplos de casos de éxito e iniciativas desarrolladas en varias ciudades del mundo.

En el capítulo 3 se definen los conceptos básicos de una red eléctrica inteligente, se describe el modelo conceptual y se identifican los dispositivos que hacen parte de ella. El medidor inteligente tiene una relevancia importante en el desarrollo del

⁴ Ver más en: http://en.openei.org/wiki/Green_Button

⁵ Ver más en: <http://www.greenbuttondata.org/>

documento. Además se definen los requerimientos y las tecnologías de comunicación utilizadas en una red inteligente, las cuales son conectadas a una infraestructura de medición avanzada (AMI), adicionalmente se estudian las características, las funciones, los requisitos y los componentes que se necesitan para la implementación de un hogar inteligente.

En consecuencia de lo anterior surge la definición de los HEMS ó sistemas de gestión energética en el hogar, los cuales ofrecen sistemas de medición, sensores y la infraestructura de comunicación, esta última con gran variedad de protocolos a nivel de comunicación residencial.

El desarrollo de una red eléctrica inteligente, ofrece variedad de valores agregados, uno de ellos son los servicios contextuales. En el capítulo 4 se definen las aplicaciones de funcionalidad en un hogar inteligente, el sistema de información del consumidor y la gestión de la información en la infraestructura de medición avanzada. Ésta es de gran importancia para desarrollar el propósito del proyecto. Se describe como aplicación importante la denominada iniciativa “GREEN BUTTON” de la cual se estudian las especificaciones, los estándares y su desarrollo a nivel internacional.

En la segunda parte del capítulo 4 se describen los servicios basados en la medición inteligente para usuarios residenciales, teniendo en cuenta la respuesta a la demanda, el control de la carga directa, la energía prepagada y la facturación de servicios públicos. Por último se describen los servicios sensibles al contexto, de los cuales se analizan sus clases, características, atributos y se presentan diferentes tipos de software y plataformas necesarias para la respectiva implementación de dichos servicios a nivel residencial.

El análisis de la viabilidad de la línea de negocio de los servicios contextuales se realiza en el capítulo 5 por medio de los aspectos motivacionales que han surgido en la implementación de la iniciativa GREEN BUTTON y desarrollos tecnológicos por parte de empresas como VENTYX e IBM. Además se realiza la descripción de

los beneficios a los consumidores, las empresas de servicios públicos y terceros, y las barreras que se deben superar para el despliegue de los servicios. Por último se proponen dos modelos de negocio para las empresas que desarrollen proyectos de servicios entorno a la Smart Grid.

En el capítulo 6 se mencionan los diferentes proyectos de medición avanzada inteligente en varios países, junto con dos casos de implementación del Green Button en la India y en los Estados Unidos. Adicionalmente se citan estándares a nivel internacional para la iniciativa del Green Button y además se presenta el avance del marco normativo en Colombia. Para finalizar se muestran los avances de Colombia en temas de las redes inteligentes y los servicios contextuales partiendo del proyecto “Colombia Inteligente⁶”. Finalmente en los capítulos 7 y 8 se presentan los logros alcanzados en el trabajo de investigación, así como las conclusiones y observaciones.

⁶ El proyecto Colombia inteligente tiene como objetivo fundamental establecer un marco de lineamientos, políticas y estrategias para el desarrollo óptimo de las redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano para enfrentar los nuevos retos de la evolución de los sistemas eléctricos.

1. JUSTIFICACIÓN

Existe una creciente expectativa con respecto a las nuevas oportunidades de negocio⁷ derivadas de las redes inteligentes residenciales a partir de la integración del usuario como participante activo en la operación del sistema eléctrico. Las tecnologías de medición inteligente, comunicaciones y dispositivos automatizados permiten obtener información del usuario para desarrollar diferentes tipos de servicios (confort, entretenimiento, dinámica de precios de energía, integración de energía renovable y vehículo eléctrico, etc.). El motivo de esta investigación es conceptualizar el comportamiento y viabilidad de los servicios contextuales que se pueden generar a partir de la gestión de información en la infraestructura de medición avanzada (AMI) y la sensibilidad al contexto con el objetivo de que en el futuro al ser instalada una red eléctrica inteligente en el ámbito regional exista una primera aproximación basada en la iniciativa GREEN BUTTON, y algunos modelos y portafolio de negocios de algunas empresas con reconocimiento mundial que permitan el desarrollo de nuevas líneas de negocios para el operador de red, las empresas de servicios públicos, los usuarios residenciales e incluso terceros.

⁷ Las nuevas oportunidades de negocio están dirigidas a empresas prestadoras de servicios públicos, operadores de red y en general cualquier otro tipo de empresa con capacidad de desarrollar servicios y aplicaciones a partir de la información recopilada en la red inteligente.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo se describen a continuación.

Objetivo general

Realizar un análisis conceptual de la capacidad de los diferentes tipos de servicios contextuales, aplicados en las redes inteligentes domésticas, para identificar y describir la funcionalidad de dichos servicios al ser aplicados en el mediano plazo en un contexto regional.

Objetivos específicos

- Describir de manera teórica el comportamiento energético de una red inteligente residencial típica basada en el estudio de los sistemas de gestión energética (HEMS) y (AMI).
- Estudiar las características, atributos de calidad, arquitectura y entornos más comunes en los cuales los servicios contextuales pueden satisfacer las necesidades de los usuarios.
- Analizar la viabilidad de una línea de negocio entre el operador de red, empresa y el usuario final, mediante sus preferencias y la demanda energética.
- Conceptualizar la funcionalidad de dichos servicios contextuales en un contexto regional partiendo de proyectos propuestos en otras ciudades del mundo.

3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE LA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE.

En este capítulo se conceptualizarán las principales definiciones y componentes que conforman una red eléctrica inteligente, con el objetivo de conocer el campo de la ingeniería eléctrica que brindará la posibilidad de implementar servicios contextuales y líneas de negocio entorno a ésta, y que serán expuestas en los tres capítulos siguientes.

3.1 Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid).

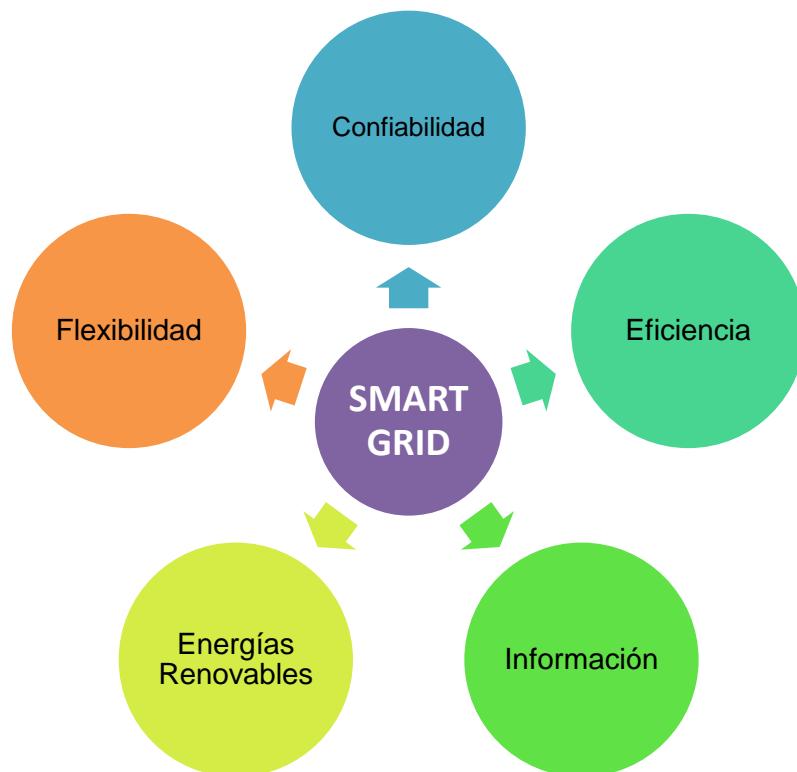
Una “Smart Grid” es una red planteada de rango nacional que usa tecnologías de información para entregar electricidad de una forma más eficiente, confiable y segura. Este tipo de red representa una mejora representativa desde un sistema convencional de proveedores de energía desconectados, o sistema de una vía, a una red nacional interoperable, digital y de dos vías, lo cual significa una forma más eficiente de distribuir y diversificar las fuentes de energía (incluyendo las renovables como la eólica y solar), así como un sistema de comunicaciones de tamaño nacional [4].

La eficiencia sobre el consumo energético permite opciones de gestión que favorecen la reducción del consumo y la optimización de la infraestructura de la red. Es decir, en conjunto las redes inteligentes mejoran el servicio al cliente, garantizando ventajas comerciales como tarifas reducidas, y el control y la administración local del sistema en tiempo real.

Por otra parte, la adopción de las redes inteligentes mejoran la operación de los sistemas tradicionales de producción, distribución, generación y uso final de la energía reduciendo las interrupciones en el servicio, las mismas que al ser representadas en costos resultan significativos por las diferentes actividades que dependen de este insumo [5].

En resumen, una red inteligente se basa en la aplicación de sensores, de servicios de comunicaciones, capacidad de computación y control, de forma que se mejoran todos los aspectos las funcionalidades del suministro eléctrico. Un sistema se convierte en inteligente adquiriendo, comunicando, procesando y ejerciendo control de los datos e información relacionada al uso del sistema mediante un proceso de realimentación que permita ajustar las variaciones que puedan surgir en un funcionamiento real [6]. En la figura No.3 se representan las principales características de una Smart Grid.

Figura 3. Características de una red eléctrica inteligente.



Fuente: Garcés, A. Grupo de investigación en planeamiento de sistemas eléctricos de potencia. Universidad de Pereira. "Zonas No – Interconectadas: Energías renovables, Micro – redes y Smart Grids". Pereira. Colombia. 50 diapositivas.

Los sistemas energéticos actuales no permiten operar flujos de energía bidireccionales como lo requiere la red inteligente, lo cual supone ventajas y

características adicionales. La tabla No.2 presenta una comparación entre los dos tipos de redes.

Tabla 2. Comparación superficial de las características entre los dos tipos de redes.

	Red Eléctrica Actual	Red Eléctrica Inteligente
<i>Comunicación</i>	Unidireccional	Bidireccional
<i>Generación</i>	Centralizada	Distribuida
<i>Interacción con el usuario</i>	No	Sí
<i>Control de flujo</i>	Limitado	Completo
<i>Confiabilidad</i>	Mayor probabilidad de interrupciones de energía	Adaptativa y en isla
<i>Restauración de energía</i>	Manual	Auto-restablecimiento
<i>Topología</i>	Radial	Mallado

Fuente: Zhou, Xue-song; Cui, Li-qiang; Ma, You-jie. "Research on Smart Grid Technology". *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM)*. China. 2010. p. 599-603.

Adicionalmente la red eléctrica inteligente permite productos y servicios innovadores junto con la monitorización inteligente, la comunicación en tiempo real y mejores técnicas de control con los siguientes propósitos [7]:

- Facilitar la conexión y la operación de los generadores de poca y gran capacidad y tecnologías.
- Permitir a los consumidores involucrarse en la gestión de la operación del sistema.
- Proveer a los consumidores mayor información y variedad de suministros.
- Reducir significativamente el impacto ambiental de todo el sistema de suministro eléctrico.
- Entregar mayores niveles de confiabilidad y seguridad en el suministro.

Con base en estos propósitos en la tabla No.3 se muestra otra comparación de las principales características entre la red eléctrica convencional y una red eléctrica inteligente.

Tabla 3. Comparación detallada de características.

Característica	Red Eléctrica Actual	Red Eléctrica Inteligente
<i>Automatización</i>	Existencia limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de red.
<i>Inteligencia y control</i>	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual.	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema.
<i>Autoajuste</i>	Se basa en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Automáticamente detecta y responde a transmisiones actuales y problemas en la distribución. Su enfoque se basa en la prevención. Minimiza el impacto en el consumidor.
<i>Participación del consumidor y generación distribuida</i>	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
<i>Resistencia ante ataques</i>	Infraestructuras vulnerables.	Resistente ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
<i>Gestión de la demanda</i>	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horaria del día, o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos eléctricos inteligentes, que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética, señales de precio y seguimiento de programas de operación predefinidos.

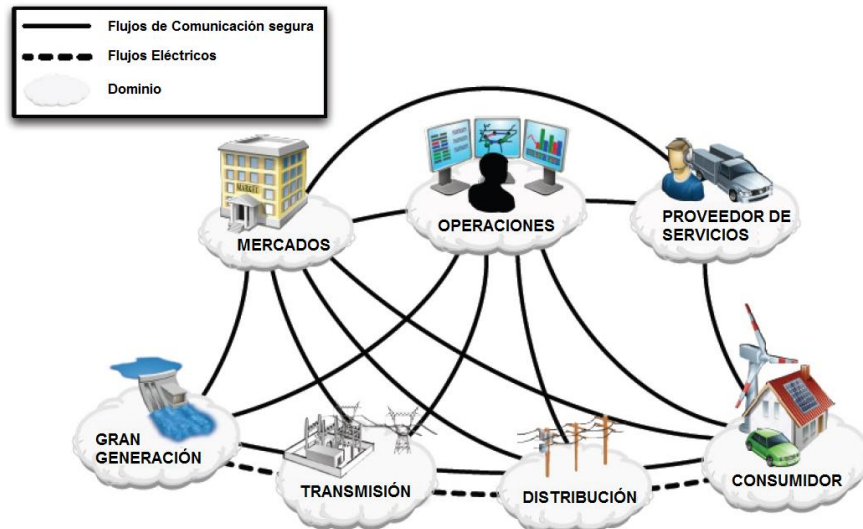
<i>Calidad eléctrica</i>	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de calidad eléctrica. De esta forma persisten problemas de huecos de tensión, perturbaciones, ruido eléctrico, entre otras.	Calidad eléctrica que satisfice a la industria y clientes. Identificación y resolución de problemas de calidad eléctrica. Varios tipos de tarifas para varios tipos de calidades eléctricas.
<i>Vehículos eléctricos</i>	Recientemente se están empezando a incorporar puntos de recarga eléctrica en la red, que sólo permiten la recarga de las baterías de los vehículos.	La incorporación de los vehículos eléctricos a la red, está demandando nuevas infraestructuras especializadas destinadas a la recarga y a permitir que cada vehículo pueda convertirse en pequeñas fuentes de generación.
<i>Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento</i>	Pocas grandes plantas generadores. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.	Gran número de diversos dispositivos generadores y almacenadores de energía, para completar a las grandes plantas generadoras.
<i>Optimización del transporte eléctrico</i>	En la actualidad se pierde una gran cantidad de energía debido a la poca eficiencia en la distribución y generación eléctrica.	Sistemas de control inteligentes que permitan extender los servicios intercambiados entre los distintos agentes del mercado eléctrico y, asimismo, utilizar al mínimo la capacidad de transmisión de la red.
<i>Preparación de mercados</i>	Los mercados de venta al por mayor siguen trabajando para encontrar los mejores modelos de operación. No existe una buena integración entre éstos. La congestión en la transmisión separa compradores de vendedores.	Buena integración de los mercados al por mayor. Prósperos mercados al por menor. Congestionamientos de transmisión y limitaciones mínimas.
<i>Optimización de bienes y funcionamiento eficiente</i>	Integración mínima de los datos de operación y la gestión de bienes. Mantenimiento basado en tiempo.	Censado y medida de las condiciones de la red. Tecnologías integradas para la gestión de los bienes. Mantenimiento basado en las condiciones de la red.

Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. *Smart Grids y la evolución de la red eléctrica. España. 2011. p. 1-82 [6].*

3.2 Modelo conceptual de Smart Grid.

Con el propósito de asumir el reto de las redes inteligentes el NIST (National Institute of Standards and Technology) elaboró el modelo conceptual que se muestra en la figura No.4, el cual se puede utilizar como una referencia para las diferentes partes del sistema eléctrico donde los trabajos de estandarización están teniendo lugar [8]. Éste modelo define un marco conceptual para examinar las necesidades de las redes inteligentes, adicionalmente proporciona una lista de los estándares existentes, orienta la elaboración de las normas que guían las deliberaciones de la industria y establece un conjunto de medidas prioritarias para avanzar en los planes de estandarización del sector para mejorar la interoperabilidad de las redes inteligentes. Además resalta las áreas del problema de interoperabilidad y puede ayudar a resolver problemas de interdependencias en el sistema eléctrico y otras infraestructuras [9].

Figura 4. Interacción entre los dominios de Smart Grid a través de comunicación segura.



Fuente: The National Institute of Standards and Technology (NIST). "Framework and Roadmap for Smart Grid interoperability standards, Release 1.0". [En línea]. Enero 2010. Disponible en internet: http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf.

Como se observa en la figura No.2, las interfaces eléctricas se representan con líneas discontinuas y las interfaces de comunicación con líneas continuas mientras que las nubes corresponderían a los dominios que se definen a continuación.

El modelo NIST divide la Smart Grid en siete dominios. Cada dominio incluye uno ó más actores, incluyendo dispositivos, sistemas o programas que toman las decisiones y el intercambio de información necesaria para la realización de aplicaciones [9]. Es importante resaltar que los usuarios pueden generar energía eléctrica para su propio consumo, pero también los proveedores de servicios pueden implementar un servicio único de generación a pequeña escala. Las breves descripciones de los dominios y actores se especifican en la tabla No.4.

Tabla 4. Dominios y actores en el modelo conceptual NIST.

Dominio	Actores en el dominio
Consumidores	Los usuarios finales de la electricidad. También pueden generar, almacenar y gestionar el uso de la energía.
Mercados	Los operadores y los participantes en los mercados eléctricos.
Proveedores de servicio	Las organizaciones que prestan servicios a los grandes y pequeños clientes.
Operaciones	Los administradores del movimiento de la electricidad.
Grandes generadores	Los generadores de la electricidad en grandes cantidades. También pueden almacenar energía para su posterior distribución.
Transmisión	Los transportadores de gran cantidad de energía en largas distancias. También pueden almacenar y generar electricidad.
Distribución	Los distribuidores de electricidad desde y hacia a los clientes. También pueden almacenar y generar electricidad.

Fuente: The National Institute of Standards and Technology (NIST). "Framework and Roadmap for Smart Grid interoperability standards, Release 1.0". [En línea]. Enero 2010. Disponible en internet: http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf.

3.3 Dispositivos de las redes inteligentes.

La tecnología inteligente en una red eléctrica ayuda a gestionar de manera eficiente la futura demanda de energía, reduciendo la necesidad de construir nuevas centrales eléctricas. Existe la obligación de explorar y entender el escenario de las tecnologías de redes inteligentes como la comunicación bidireccional, medidores inteligentes, sensores inteligentes y la infraestructura de medición avanzada (AMI) la cual se describe en el ítem 3.5. Las características esenciales, especificaciones y desarrollo tecnológico del medidor inteligente son áreas de investigación para elaborar una infraestructura de medición avanzada integral e inteligente que desempeñará un papel vital en la generación, distribución y consumo en la futura red eléctrica [10].

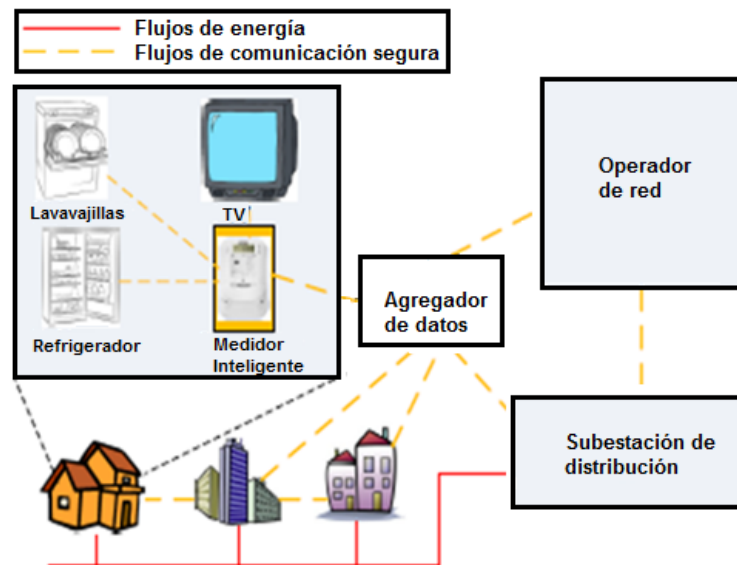
Los dispositivos inteligentes junto con la infraestructura de comunicaciones permiten ejecutar una medición, la supervisión, el control avanzado y la interfaz con operadores y usuarios.

3.3.1 Medidor inteligente.

En la actualidad, la medición inteligente se ha convertido en un tema de gran importancia ya que para proporcionar la información en tiempo real es necesario un equipo de medida distinto al contador electromecánico o electrónico convencional y con prestaciones especiales. Por lo tanto se necesita definir una nueva forma de medir denominada medición inteligente (Smart Metering), la cual hace referencia al proceso de medida para cuantificar y transmitir instantáneamente la información de las cantidades de energía consumidas o producidas para su gestión en la red eléctrica inteligente, permitiendo que los nuevos servicios obtenidos con los medidores más modernos implementen aplicaciones en las medidas de parámetros energéticos no eléctricos lo que a su vez facilita la automatización a usuarios y gestores. Además, estos equipos incorporan la capacidad de desconectar-reconectar de forma remota y controlar

electrodomésticos y dispositivos inteligentes para gestionar su demanda energética. La figura No.5 muestra un escenario de uso típico para el medidor inteligente el cual recopila información sobre el consumo de energía de ciertos electrodomésticos, y de ser necesario, envía comandos de control. Por otro lado, los datos generados en diferentes edificaciones se transmiten a un recopilador de datos (*data aggregator*) quien recibe los datos y puede desempeñarse como un punto de acceso [2], [8].

Figura 5. Escenario de uso típico para el medidor inteligente.



Fuente: *Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications survey and tutorials. Vol. 14., No. 4., 2012. p. 944-980 [8].*

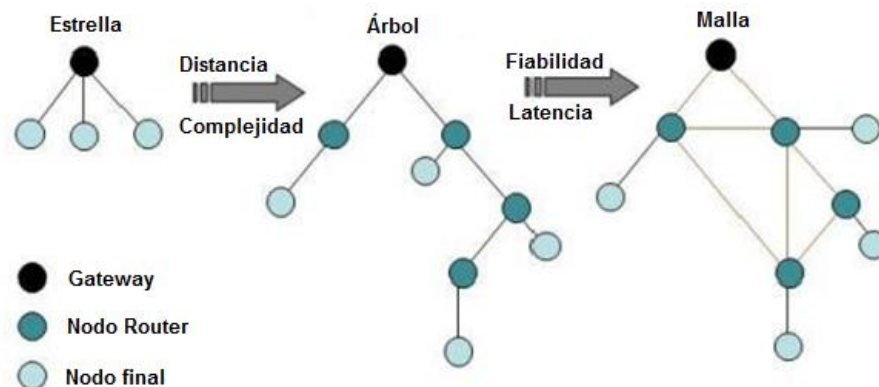
3.3.2 Sensores inteligentes.

Los sensores o las redes de sensores ya se han utilizado como un sistema de seguimiento y enfoque de medición para diferentes propósitos [10]. Estos dispositivos tienen como finalidad detectar anomalías en el funcionamiento de las redes eléctricas tales como fallas en las líneas de conducción, daños físicos de infraestructura, puntos calientes y condiciones mecánicas extremas, por lo tanto, se plantea que las redes de sensores deben ser integradas en la red de energía

para lograr una evaluación en tiempo real de las condiciones mecánicas y eléctricas de las líneas de transmisión, obtener una imagen física y eléctrica completa del sistema, diagnosticar inmediatamente y determinar medidas de control adecuadas que podrían adoptarse de forma automática [8].

Las WSN (Wireless Sensor Network) constituyen una red de sensores inalámbricos de corto alcance con la opción de procesamiento para proporcionar la supervisión remota y el diagnóstico del sistema. Con la ayuda de las WSN, una eventual contingencia en la red de energía podría ser detectada y aislada antes de causar efectos en cascada y conducir a graves daños en el sistema. Las tres topologías principales de las WSN son la tipo estrella, árbol, y malla que se muestran en la figura No.6.

Figura 6. Principales topologías de una WSN.



Fuente: <http://www.ni.com/white-paper/8707/es>.

La aplicación de los sensores inalámbricos resulta muy importante debido a que ayudan al desarrollo de los servicios contextuales residenciales (capítulo 4). Estos se disponen al interior de las edificaciones residenciales dispersos a lo largo de toda la estructura en puntos definidos para medida de variables, como por ejemplo, la temperatura y la iluminación, y así utilizar esta información con fines de confort y uso racional de energía.

3.3.3 Unidad de medición fasorial (PMU)

La evolución de las redes inteligentes han generado un interés en el uso de las unidades de medición fasorial (PMU) para ayudar a crear una infraestructura de transmisión y distribución de energía confiable. La PMU está compuesta por dispositivos síncronos que muestrean las ondas eléctricas en la red logrando medir la tensión y corriente en puntos significativos para determinar la salud del sistema. Mientras que los equipos convencionales miden, típicamente, una vez cada 2 ó 4 segundos, para proporcionar información acerca del régimen permanente, las PMUs muestrean muchas veces por segundo, para aportar datos acerca del régimen transitorio. Las lecturas se realizan en lugares dispersos en el sistema de potencia y son sincronizadas con el sistema de posicionamiento global (GPS). Con un gran número de unidades de gestión y la capacidad de comparar las lecturas de corriente alterna en todo el sistema, los operadores pueden utilizar los datos para determinar el estado del sistema de potencia y responder de forma rápida y dinámica a diferentes condiciones, como por ejemplo, las sobrecargas. De este modo, se pueden adoptar medidas necesarias para prevenir apagones [8], [11], [12].

3.3.4 Micro-red inteligente.

Una micro-red inteligente permite reducir los costos de generación y transmisión, así mismo mejora la eficiencia y la confiabilidad del sistema eléctrico, favoreciendo la integración de sistemas de energías renovables y de almacenamiento.

La micro-red podría suponer menos problemas al operador de red que la micro-generación convencional mediante una coordinación inteligente de las cargas y de la micro-generación. Además podría proveer servicios auxiliares como control de tensión local y durante eventos en la red podrían desconectarse y operar autónomamente, aumentando potencialmente la fiabilidad de suministro al consumidor final.

El concepto de micro-red puede ser implementado tanto en baja como en media tensión, dependiendo de la aplicación, potencia de pico y localización. También tiene la posibilidad de integrar una red eléctrica y una red térmica para aprovechar las energías renovables y los gases calientes de escape de grupos electrógenos para generar calor y energía eléctrica, y así mejorar la eficiencia energética de todo el sistema.

Considerando su gran variedad de aplicaciones de tipo industrial, comercial y residencial, un sub-sistema de energía eléctrica puede ser identificado como micro-red cuando incluye por lo menos los siguientes elementos [13], [14]:

- Características inteligentes y de control para gestionar la energía generada de forma local, como por ejemplo, contadores inteligentes y puntos de control.
- Micro fuentes eléctricas, térmicas o unidades de almacenamiento cerca de las cargas (sistemas de generación distribuida).
- La posibilidad de funcionar tanto conectada como aislada de la red pública de distribución.

3.4 Comunicación de la red inteligente.

La infraestructura de comunicación es la responsable de la conectividad de la comunicación y la transmisión de información entre los sistemas, dispositivos y aplicaciones en el contexto de la smart grid.

Con la integración de tecnologías avanzadas y aplicaciones para la consecución de una infraestructura de red eléctrica inteligente, una enorme cantidad de datos de diferentes aplicaciones se generará para su posterior análisis, por lo tanto, es importante para las empresas de energía eléctrica definir los requerimientos y encontrar la mejor infraestructura de comunicaciones que permita manejar

adecuadamente los datos de salida y entregar un servicio confiable, seguro y rentable a lo largo del sistema [15].

3.4.1 Requerimientos de comunicación.

La infraestructura de comunicación entre la generación, la transmisión, la distribución y el consumo de la energía requiere específicamente una comunicación bidireccional, interoperabilidad y confiabilidad. Por otra parte la seguridad del sistema debe ser suficientemente robusta para prevenir ataques cibernéticos y para proporcionar estabilidad y fiabilidad al sistema con controles avanzados [16]. Los principales requisitos que debe cumplir la infraestructura de comunicación en la red inteligente son [17]:

- *Seguridad*

El almacenamiento y transporte seguro de información es vital para efectos de la facturación y control en la red eléctrica. Para evitar ataques cibernéticos se deben desarrollar mecanismos de seguridad eficaces para la protección de información de todo tipo que se recaude por medio de la red eléctrica inteligente.

- *Fiabilidad, robustez y disponibilidad.*

En la actualidad el deteriorado estado de la infraestructura de energía eléctrica y el aumento en demanda de consumo son algunas razones que crean problemas de fiabilidad en la red, por tanto, proporcionar una alta fiabilidad al sistema se ha convertido en una de las necesidades prioritarias. El aprovechamiento de los protocolos modernos y seguros de comunicación, de tecnologías de comunicación e información, de dispositivos de control más sólidos y rápidos y dispositivos inteligentes integrados (IED) fortalecerá significativamente la fiabilidad y robustez del sistema [18]. Por otra parte las tecnologías inalámbricas con un ancho de banda restringido, seguridad y costos bajos junto con tecnologías de cable de gran capacidad creando así una tecnología de comunicación híbrida con soluciones

fijas y móviles pueden proporcionar al sistema la fiabilidad, robustez y disponibilidad a la vez con costos de instalación adecuados.

- *Escalabilidad*

Una red eléctrica debe ser lo suficientemente escalable para facilitar la operación de la red eléctrica [19]. Los medidores y sensores inteligentes junto con los recursos de energía renovables se unen a la red de comunicaciones. Por lo tanto, la red inteligente debe manejar la escalabilidad con la integración de servicios web avanzados, protocolos confiables capaces de llevar a cabo funciones avanzadas como la auto-configuración y los aspectos de seguridad.

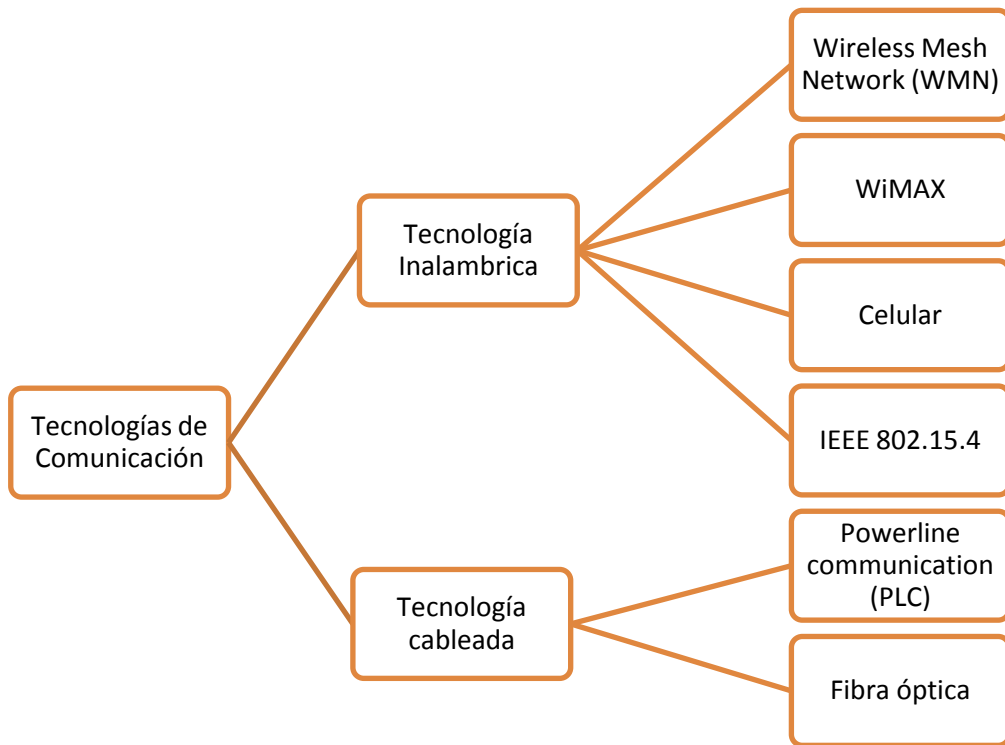
- *Calidad del servicio (QoS ó Quality-of-Service)*

La comunicación entre el proveedor de energía y los usuarios es un aspecto importante en la red inteligente, ya que debe ser compatible con la calidad del servicio de los datos, como por ejemplo, los datos críticos detectados relacionados con la interrupción de energía deben ser recibidos por el controlador en el momento oportuno y así disminuir el riesgo de estabilidad en el sistema [8].

3.4.2 Tecnologías de comunicación disponibles.

Diferentes tecnologías de la comunicación apoyadas por dos principales medios de comunicación, es decir, con cable e inalámbrico (ver figura No.7), se pueden utilizar para la transmisión de datos entre los medidores inteligentes y las centrales eléctricas. En algunos casos, las comunicaciones inalámbricas tienen ciertas ventajas sobre tecnologías por cable, como la infraestructura de bajo costo y la facilidad de conexión con las zonas de difícil acceso. Sin embargo, la naturaleza de la ruta de transmisión puede causar interferencia en la señal. Por otro lado, las soluciones cableadas no tienen problemas de interferencia y no dependen del uso de baterías, como las tecnologías inalámbricas si lo hacen.

Figura 7. Clasificación de tecnologías de comunicación en la red eléctrica inteligente.



Fuente: Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications survey and tutorials. Vol. 14., No. 4., 2012. p. 944-980 [8].

Los principales flujos de información que facilitan la transmisión de datos en la red inteligente son:

- Flujo desde los aparatos eléctricos y sensores hacia medidores inteligentes.
- Flujo entre los medidores inteligentes y centros de datos [20].

Para el primer tipo de flujo de datos se puede lograr a través de la comunicación de línea eléctrica ó de comunicaciones inalámbricas y para el segundo a través de tecnologías celulares o internet. Sin embargo, existen factores limitantes como la disponibilidad de las tecnologías, los costos y el medio de implementación, que se deben tener en cuenta en el momento de poner en funcionamiento los contadores inteligentes [17].

Basados en la clasificación mostrada en la figura 5, se definen a continuación las tecnologías de comunicación más utilizadas en el entorno de las redes inteligentes.

3.4.2.1 Tecnologías Inalámbricas.

Las tecnologías inalámbricas no sólo ofrecen ventajas significativas sobre las tecnologías cableadas, como el bajo costo de instalación, despliegue rápido, movilidad, entre otros, también son más adecuados para llevar a cabo aplicaciones remotas. La comunicación inalámbrica ha sido ampliamente utilizada en aplicaciones cotidianas demostrando que puede ser desplegada en cualquier lugar y momento. Algunas de las tecnologías de comunicación inalámbrica más favorables a una red eléctrica inteligente son:

1. *Wireless Mesh Network*

Ésta tecnología de red mallada es capaz de ser auto-organizada dinámicamente, auto-configurable y auto-regenerable. Su comunicación consiste en conformar un grupo de nodos, en el cual un nuevo nodo podría unirse al grupo y a su vez cada uno de ellos actuar como un enrutador independiente. Existen dos tipos de nodos; los que constituyen el dominio de enrutamiento, *mesh router* y *mesh Gateway*, y los que constituyen el dominio del cliente, formado por los *clientes mesh*.

- *Dominio de enrutamiento*

Ésta formado por un conjunto de dispositivos llamados Mesh Routers o enrutadores mesh y Mesh Gateway o puerta de enlace mesh. Estos dispositivos cumplen la función de trabajar como puntos de acceso convencionales (Mesh Gateway) y forman una malla de nodos fijos que constituyen la red de infraestructura. Además estos equipos pueden trabajar con varias tecnologías de radios para la interconexión entre ellos. Tienen doble función, la de proporcionar acceso a la red a los clientes y la de comunicarse entre ellos para el correcto direccionamiento y envío de datos.

- *Dominio de Cliente Mesh*

Está constituido por los Clientes Mesh, que son los dispositivos finales, a los cuales se les van a poner a disposición los servicios. Estos deben tener la capacidad de conectarse inalámbricamente a una red ya sea celular ó PDA (Personal Digital Assistant) [21].

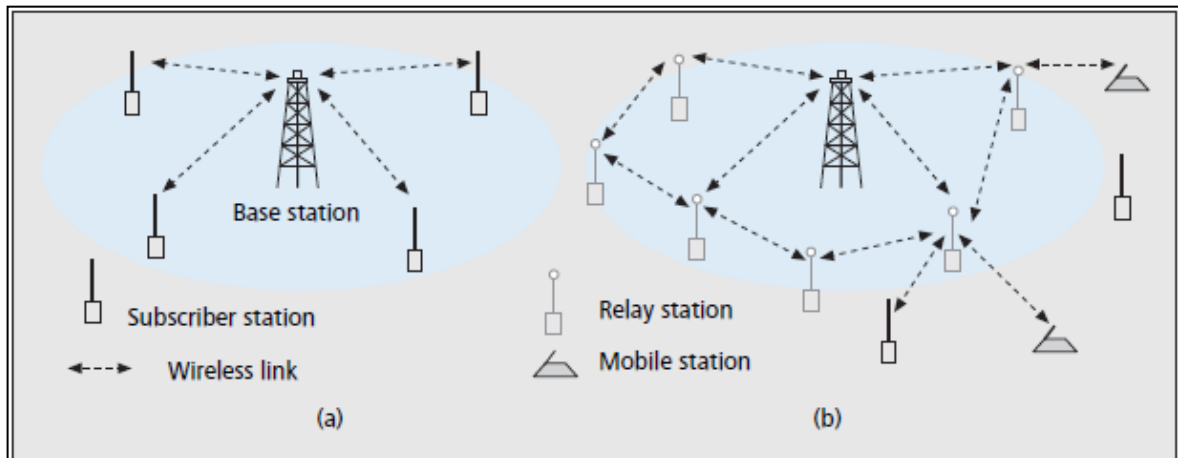
La mejor cobertura disponible en las aéreas urbanas y suburbanas, así como la capacidad de enrutamiento y escalabilidad son puntos fuertes motivando la implementación bajo la infraestructura de medición avanzada y de gestión energética en el hogar. Entre las desventajas en la implementación de este tipo de comunicación se incluyen la capacidad e interferencia, además proporcionar el equilibrio entre enrutamiento confiable y flexible con un número suficiente de nodos inteligentes teniendo en cuenta el costo de implementación de cada uno [22].

2. WiMAX

La tecnología de red inalámbrica Worldwide interoperability for Microwaves Access (WiMAX) hace parte del estándar IEEE 802.16 para redes inalámbricas de área metropolitana (en inglés WMAN). Su principal objetivo es lograr la interoperatividad mundial para acceso por microondas, además, puede ser utilizada para redes inalámbricas al igual que la tecnología WiFi. Sin embargo, WiMAX permite mayores velocidades de datos en largas distancias, el uso eficiente del ancho de banda y evita la interferencia casi al mínimo, e incluso se compara como tecnología 4G [23].

De acuerdo con el estándar IEEE 802.16, la tecnología WiMAX es compatible con dos modos de funcionamiento (Véase figura No.8), uno modo PMP (Point to Multipoint) y otro modo malla.

Figura 8. Arquitecturas WiMAX. a) Modo PMP. b) Modo malla.



Fuente: A Secure and Service – Oriented Network Control Framework for WiMAX Networks. IEEE Communications Magazine. Mayo, 2007. p. 124-130 [24].

La red WiMAX en modo PMP que se observa en la parte a) de la figura No.6 incluye una estación base (en inglés BS) y varias estaciones de suscriptor (en inglés SS) teniendo como objetivo proporcionar acceso de última milla a un proveedor de servicios de internet banda ancha. Por otro lado, en el modo malla ilustrado en la parte b) de la figura 6 suponemos que la estación base puede proporcionar acceso a internet; una estación de retransmisión (en inglés RS) la cual es un tipo especial de SS que puede reenviar flujos de tráfico a estaciones base u otras estaciones de retransmisión; y una estación móvil (MS) que corresponde a otro tipo de SS con la cualidad de movimiento en la red [24]. En comparación con el modo PMP, el modo malla es más flexible y su infraestructura se puede implementar más rápidamente.

Algunos de los servicios y prestaciones de la red WiMAX son [25]:

- Acceso a internet de alta velocidad.
- Voz (VoIP).
- Transmisión de datos (VPN IP, Línea Dedicada).
- Conectividad a internet para redes WiFi/ GSM/ GPRS/ UMTS.

- Soporta diferentes niveles de servicio para usuarios particulares y empresa.
- Posibilidad de aumentar el ancho de banda o las prestaciones en función de las necesidades de los usuarios.
- Gran ancho de banda: hasta 70 Mbps por usuario y hasta 420 Mbps por estación base.
- Rápido despliegue (hasta 50 Km de cobertura).
- Fácil instalación.
- Permite la transmisión simultánea de voz, video y datos.

3. *Sistemas de comunicación celular*

Esta tecnología ha sido utilizada durante décadas para la transmisión de datos basada en celdas, que están formadas por muchos transmisores de baja potencia. Debido al continuo movimiento de los dispositivos celulares, la transmisión de datos también es intercambiada entre una celda y otra, lo que facilita el flujo no interrumpido de datos. Entre los sistemas más comunes y eficientes se encuentran el 3G (Tercera generación) y el 4G (Cuarta generación).

El sistema 3G emplea técnicas digitales, ofrecen mayores velocidades de datos y una mayor capacidad. Entre sus especificaciones esta el espectro de 2.11-2.17 Ghz, velocidad de datos entre 384 Kbps-2 Mbps, un rango de cobertura entre 1-10 Km y su principal limitación es el elevado costo. Por otro lado entre las mayores ventajas del sistema 4G se encuentra el alto índice de datos, menor retardo y mayor movilidad, y una velocidad de datos de 100 Mbps [17], [23]. Una de las principales ventajas de utilizar las redes de tecnología móvil en la implementación de las redes inteligentes corresponde a la actual existencia de éstas, ya que las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica no tendrían que incurrir en gastos adicionales en la construcción de la infraestructura de comunicaciones. Otro punto a favor de la tecnología celular es en cuanto a la seguridad, las redes de telefonía móvil están listas para asegurar las transmisiones de datos con fuertes controles de seguridad. Para gestionar una comunicación confiable con

medidores inteligentes en zonas rurales o urbanas, la amplia capacidad de despliegue de la red inteligente se convierte en un elemento clave y desde el punto de vista de la tecnología celular ha alcanzado casi el 100% [23]. Por otra parte, la red de energía requiere una disponibilidad continua de comunicaciones. Sin embargo, los servicios de las redes celulares pueden ocasionar congestión en la red ó disminución en el rendimiento en situaciones de emergencia.

4. *Sistemas de comunicación basados en IEEE 802.15.4*

Las principales protocolos de comunicación basadas en el estándar IEEE 802.15.4 son ZigBee, WirelessHART y ISA100.11a. Siendo ZigBee la tecnología inalámbrica más utilizada en la red de comunicación residencial ya que requiere baja tarifa de datos, batería de larga duración y redes seguras [8]. En la sección 1.7.2 se detalla la tecnología de comunicaciones ZigBee.

3.4.2.2 Tecnologías cableadas

Es importante tener en cuenta las tecnologías por cable debido a que su integración en la red eléctrica inteligente es muy probable. Las dos tecnologías más importantes son la comunicación por fibra óptica y la PLC (Powerline Communications).

1. *Tecnología de fibra óptica*

El uso de fibra óptica en telecomunicaciones y redes de área se ha convertido en algo común en los últimos años, más frecuentemente las fibras ópticas han incrementado en forma constante su prevalencia en la los sistemas de comunicación de datos industriales. La capacidad de manejo de grandes cantidades de datos, el evitar el ruido asociado y el aislamiento eléctrico son solo pocas de las características que hacen que la tecnología de la fibra óptica sea ideal para usarse en los sistemas industriales y comerciales.

La mayoría son utilizadas para conexiones punto a punto, los enlaces de fibra óptica se han usado para extender la distancia y evitar las limitaciones de los

sistemas RS-232, RS-422/485 y Ethernet al mismo tiempo que aseguran grandes tasas de transmisión de datos minimizando la interferencia eléctrica. Las señales eléctricas convencionales para transmisión de datos son convertidas en un rayo de luz modulada que se introduce dentro de la fibra y se transporta por ese medio que tiene un diámetro muy pequeño que puede ser de vidrio o de plástico, llevando la señal hasta el receptor que la transforma nuevamente en una señal eléctrica. La capacidad de las fibras de llevar una señal luminosa con pérdidas muy pequeñas, está soportada en conocimientos fundamentales de física que asocian la reflexión y refracción de la luz [26].

2. *Powerline Communicatios (PLC)*

PLC es una tecnología que implementa el transporte de datos por medio un conductor que también se utiliza para transmitir la energía eléctrica. Aunque la red inteligente podría utilizar varias tecnologías diferentes, PLC puede considerarse como una tecnología prometedora para aplicaciones de la red inteligente por su infraestructura ya existente reduciendo costos en la instalación de la red de comunicación, además, su estandarización, naturaleza ubicua y rentable son algunas características que han impulsado su popularidad [27].

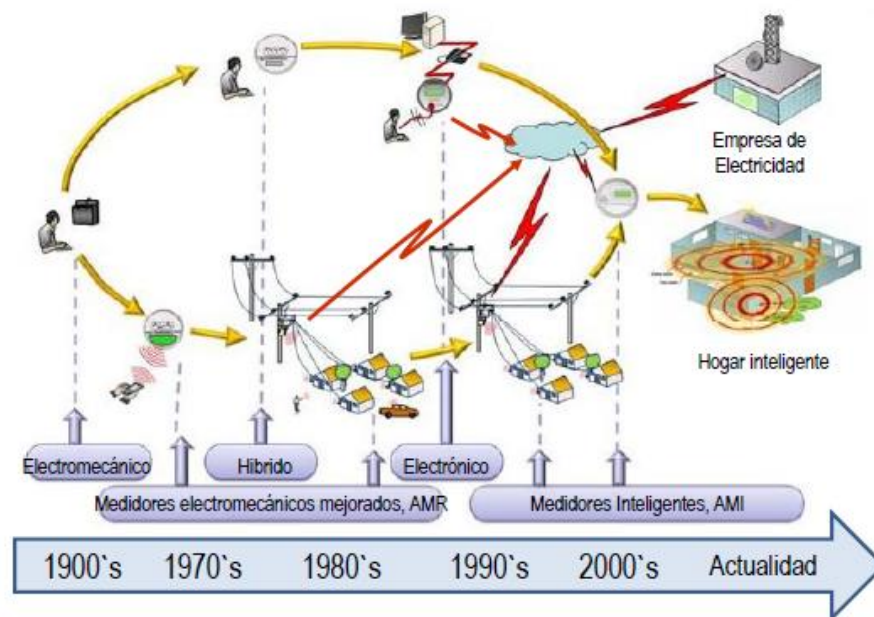
La tecnología PLC puede ser correctamente adaptada a las zonas urbanas para aplicaciones de la red inteligente como la vigilancia y control de la medición inteligente donde se puede tener una mayor cobertura en aéreas dentro del rango de territorio de servicios de las empresas prestadoras de servicios públicos. Por otra parte, algunos problemas de esta tecnología hacen referencia a su medio de transmisión áspero y ruidoso, el gran número y tipo de dispositivos conectados a las líneas eléctricas, la distancia del cableado entre emisor y receptor afectan negativamente la calidad de las señal que se trasmite a través del tendido eléctrico. Además, la característica de bajo ancho de banda (20 Kb/s) restringe algunas posibles aplicaciones de la tecnología PLC convirtiéndola en una posible

tecnología relegada por otras mejores para la transmisión de datos en la red inteligente [28].

3.5 Infraestructura de medición avanzada

La evolución de las tecnologías de medición a lo largo del tiempo ha demostrado la convergencia hacia la tecnología de medición avanzada, dejando casi obsoleta la medición análoga e incluso la electromecánica (ver figura No.9).

Figura 9. Evolución de las tecnologías de medición.



Fuente: LÓPEZ, G. V. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Infraestructura de medición avanzada (AMI) en las Redes Inteligentes. México, 2012. 27 diapositivas.

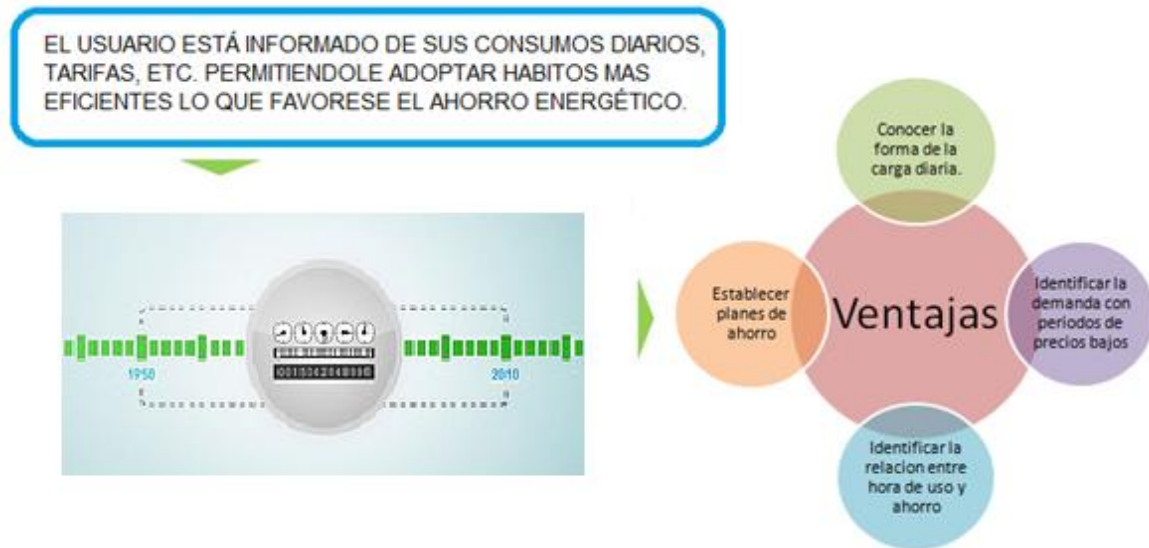
La infraestructura de medición avanzada (AMI por sus siglas en inglés) es definida por la comisión federal de regulación energética (*Federal Energy Regulatory Commission, FERC, 2008*) como “Un sistema que recoge información del consumo (y otros posibles parámetros) de los consumidores cada hora o más frecuentemente y provee transmisión de los mismos mediante una red de

comunicación a un punto de recolección de datos, diariamente o más frecuentemente” [29].

Como se pudo ver en la sección 1.3.1 el medidor inteligente es un dispositivo que permite el flujo bidireccional de datos por medio de la red de comunicaciones con el fin de establecer un enlace con el cliente para intercambiar información. Por otro lado, la infraestructura de medición avanzada surge básicamente como el principal complemento del medidor inteligente apostando por la incorporación a los consumidores al sistema basado en el desarrollo de estándares abiertos, brindándoles la posibilidad de estar informados en tiempo real de los precios y consumo para poder tomar decisiones sobre su demanda, generando un empleo más eficiente de la electricidad.

La infraestructura de medición avanzada permite la lectura de consumo “a la carta” de la energía acumulada o de la potencia instantánea, admiten opciones de precios diferenciados por tipo de medida y registros de la demanda, o programación de intervalos previamente acordados con cada cliente y permite comunicación en red con el centro de gestión [2]. En la figura No.10 se mencionan las principales ventajas que ofrece el AMI.

Figura 10. Principales ventajas del AMI.



Fuente: Smith, T. "BC Hydro Smart Meters 101". 2012. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/fricker/>.

Además, el uso de la tecnología AMI eliminará la necesidad de mano de obra en procesos como lectura manual del medidor, desplazamientos de personal ante eventos de desconexión y reconexión, entre otros.

3.5.1 Análisis de las características y funciones del AMI.

Al crear una infraestructura de medición avanzada que busca cumplir a cabalidad sus funciones, pero al mismo tiempo brindar diferentes beneficios con base en la calidad, la eficiencia y la confiabilidad en cada proceso que realice. Las funciones que el AMI son muy extensas e incluso dependerán de la creatividad propia de cada empresa para determinar nuevas aplicaciones y servicios que pudieren proveer a los clientes y que se explicarán de manera detallada en el segundo capítulo.

Una de las principales funciones de la infraestructura de medición avanzada en redes inteligentes es estimar, almacenar, analizar y utilizar la información de diferentes parámetros del sistema eléctrico por medio de la integración de redes

de comunicación y software especializado. La disponibilidad de una información más exacta puede dar lugar a actividades más eficaces de administración de carga y análisis que puede ser utilizada para mejorar los pronósticos de demanda, cobertura y gestión de la oferta [30], [31].

La comunicación bidireccional proporciona un intercambio de información en tiempo real entre el operador de red y el usuario final, y es la base fundamental para que AMI cumpla satisfactoriamente sus múltiples funciones.

En general, las características del AMI son las siguientes [30]:

- *Interacción bidireccional*

Permitirá mejorar la calidad del servicio y se tendrá una mejor satisfacción por parte de los usuarios, creando una plataforma interactiva de doble vía, que realice una conexión totalmente personalizada que permita consultas cómodas, ayudas a servicios, entre otras.

- *Respuesta a la demanda*

Partiendo de la información en tiempo real, los usuarios podrán elegir planes de gestión de su energía eléctrica facilitando posibles cambios en los modos tradicionales de uso de energía y la adquisición de nuevos hábitos que ayudarán a mejorar la eficiencia y la calidad de la energía eléctrica.

- *Comercialización*

Facilitará la modificación de la comercialización tradicional de energía eléctrica y le permitirá a las empresas mejorar la calidad en el suministro de la misma a través de cambios en los sistemas de gestión energética y modificaciones en los mecanismos de operación del sistema de distribución.

- *Acceso a nuevas formas de energía*

Permitirá tener un soporte técnico para la integración de los sistemas de generación, distribución y utilización de nuevos equipos. De esta forma se podrán ampliar las alternativas de suministro de energía eléctrica y los clientes podrán participar como no regulados en la comercialización y mercados de energía eléctrica.

- *Servicios de valor agregado*

Podrá proporcionar deferentes servicios de acuerdo a los diferentes tipos de usuarios. Estos servicios son contribuciones que las empresas le dan al servicio antes de que este, llegue al usuario final.

3.5.2 Requisitos del AMI.

La infraestructura de medición avanzada requiere la integración de los siguientes sistemas [32]:

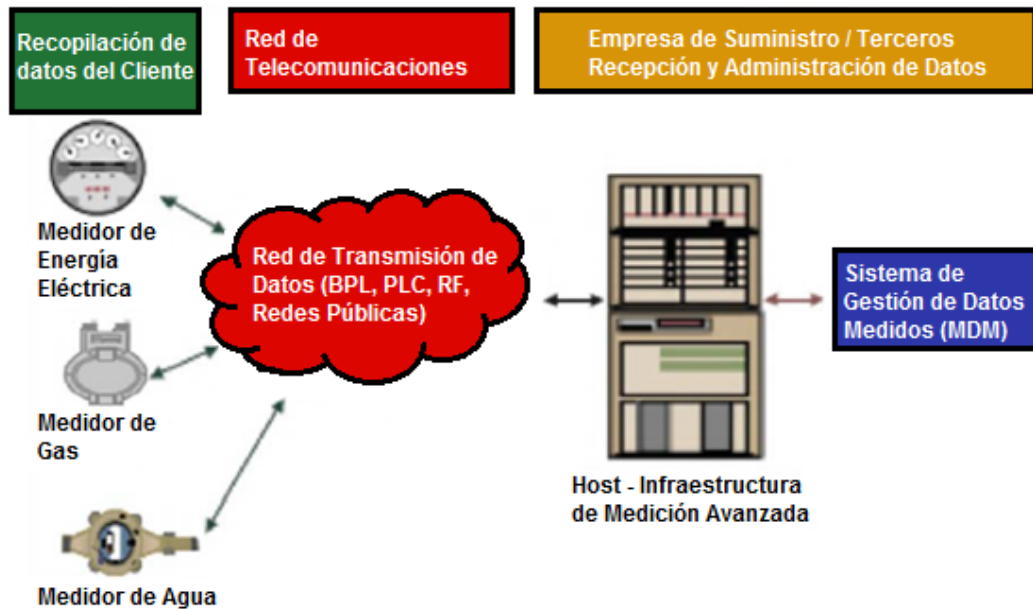
- Un sistema seguro de almacenamiento de los datos de consumo de los usuarios y de los eventos del sistema.
- Un sistema de comunicación que incorpore diferentes estándares de comunicación que permitan la monitorización y control en tiempo real. Algunos de los posibles estándares de comunicación son: DLC, HAN, PLC, GSM/GPRS, ZigBee, WiMAX.
- Un sistema que gestione ordenes remotas, respuestas de eventos, control de carga, seguimiento de la demanda, respuesta de la demanda, medición multi-servicios y precio en tiempo real.
- Una interfaz del usuario con diferentes alternativas, para que el usuario tenga acceso a la información. La complejidad y cantidad de variables manejadas en la infraestructura, demandan interfaces de usuario concisas y en diferentes escenarios tanto para los usuarios finales como para operadores de red.

- Un sistema de procesamiento y recolección de datos que permita la lectura y procesamiento de eventos como: tensiones eléctricas, corrientes, frecuencia, potencia activa y reactiva, calidad de la energía, pérdidas de potencia, así como respuesta del usuario a requerimientos de la demanda.

3.5.3 Componentes del AMI

En un diseño AMI se debe contar como mínimo con tres componentes fundamentales los cuales se ilustran en la figura No.11 y se describen a continuación [31]:

Figura 11. Principales componentes del AMI.



Fuente: Electric Power Research Institute (EPRI). *Advanced Metering Infrastructure (AMI)*. California, USA, febrero, 2007.

1. Equipo de medición con capacidad de transmitir los datos recolectados y los eventos como por ejemplo fallas, reportes de manipulación, etc., a un sistema de adquisición de datos (en inglés DAS).
2. Sistema de comunicación por el cual los medidores y/o los DAS transfieren los datos a la base de datos remota.

3. Sistema de hardware y software que controle la comunicación, reciba los datos enviados de los medidores, almacenado esta información, permitiéndole administrarla a un sistema de gestión de datos (MDM), con el fin de llevar a cabo un análisis y obtener beneficios para la empresa y el usuario.

Además, en la tabla No.5 se visualizan los niveles en los cuales se encuentra dividida la infraestructura de medición avanzada AMI.

Tabla 5. Distribución de capas del AMI.

NIVEL	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	COMPONENTES
1	Capa superior	Centro de gestión de datos y centro de manejo de comunicaciones	Equipos de red, servidores y terminales de gestión
2	Capa de acceso	Se provee comunicación de la estación principal con los medidores inteligentes haciendo posible la comunicación bidireccional entre operador de red y usuario	Canales de comunicación
3	Capa de medida	Corresponde a la medida y distribución de acceso a puntos de potencia requeridos.	Medidores inteligentes, terminales portátiles y sistemas de generación distribuida.
4	Capa del dominio del cliente	Se sitúa dentro de los hogares y corresponde a los sistemas de gestión energética residencial.	Servicios a los usuarios (consumo en tiempo real, respuesta a la demanda, integración de funcionamiento de electrodomésticos, sistema de alerta de falla y mantenimiento, etc.)

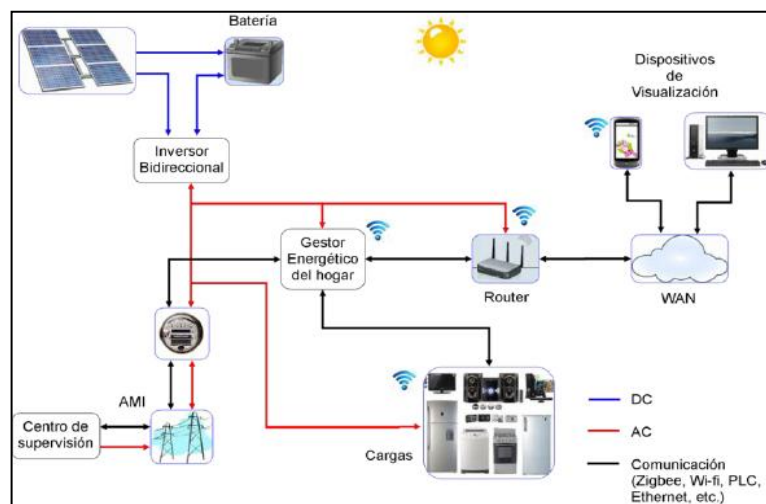
3.6 Hogar inteligente (Smart Home)

El hogar inteligente representa una integración de diferentes servicios y componentes que utilizan sistemas de comunicación comunes, los cuales son capaces de soportar operaciones seguras y económicas logrando interactuar y negociar con la utilidad de la energía por un lado y con los diferentes dispositivos de consumo individuales y los aparatos en el otro lado, a través de lo anterior la

flexibilidad del usuario en el uso de la electricidad puede ser explotado con el fin de elevar la eficiencia energética global de la red [32], [33].

Un hogar inteligente en un principio fue concebido como una tecnología capaz de vigilar sistemas de tipo ambiental como la iluminación y la temperatura. En la actualidad dichas tecnologías incluye cada dispositivo eléctrico de la casa no solo para apagar o encender dispositivos sino que también permite la monitorización de varias actividades al interior de la casa, posibilitando una operación independiente según las preferencias y la manera de vivir del usuario previamente obtenidas [32]. La figura No.12 muestra el concepto de la tecnología del hogar inteligente.

Figura 12. Concepto de la tecnología de un hogar inteligente.



Fuente: Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente residencial [34].

La escalabilidad, la facilidad de uso y la aplicabilidad son los aspectos fundamentales de la nueva tecnología del hogar inteligente. A continuación se describen cada uno de ellos.

- *Escalabilidad*

Es la capacidad para manejar gran flujo de comunicación, información e intercambio entre varios artefactos inteligentes de energía.

- *Facilidad de uso*

Corresponde a la capacidad de interactuar de forma inteligente con el usuario para permitir la gestión de energía en el hogar de forma óptima.

- *Aplicabilidad*

Capacidad para controlar los dispositivos inteligentes de energía de forma descentralizada con el propósito de mejorar la eficiencia energética y la seguridad del suministro eléctrico.

3.7 Sistema de gestión energético del hogar (HEMS).

El sistema de gestión de energía en el hogar (HEMS) centraliza eficazmente la gestión de los servicios que se ofrecen a los clientes con una amplia funcionalidad para el intercambio de información interna, ayudan a los usuarios a optimizar el consumo energético con el mismo o mejor estilo de vida, reorganizando el horario cotidiano del consumo energético según las necesidades con el fin de asegurar una alta calidad de vida al menor costo posible.

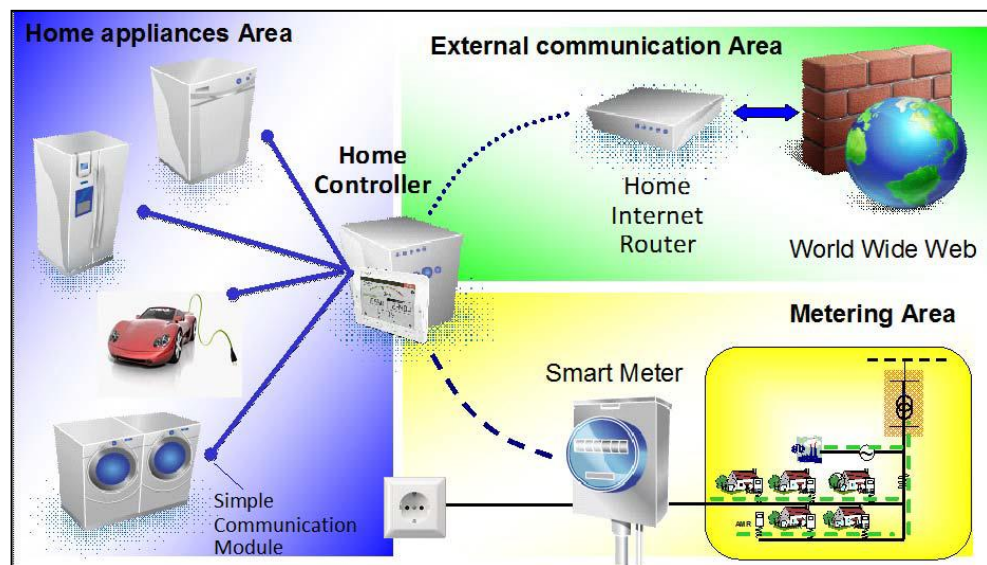
Por otra parte, incluye todos los elementos de hardware y software por medio del cual se pueden lograr diversos objetivos de gestión energética. HEMS incorpora los sistemas de medición, sensores y la infraestructura de comunicación. Además cuenta con la opción ser personalizado en función de las necesidades del usuario y el tipo de servicios de energía proporcionados por los proveedores.

El sistema de gestión energética en el hogar puede ser configurado principalmente en tres áreas (Ver figura No.13):

- Área de medición principal.
- Área de los electrodomésticos.
- Área de la comunicación de área externa.

El controlador de la casa es el componente principal que alberga las aplicaciones para el control y optimización. Por otro lado, la comunicación con los electrodomésticos se realiza a través de sensores los cuales permiten pronosticar los puntos de consumo innecesario de energía [35].

Figura 13. Arquitectura del HEMS.

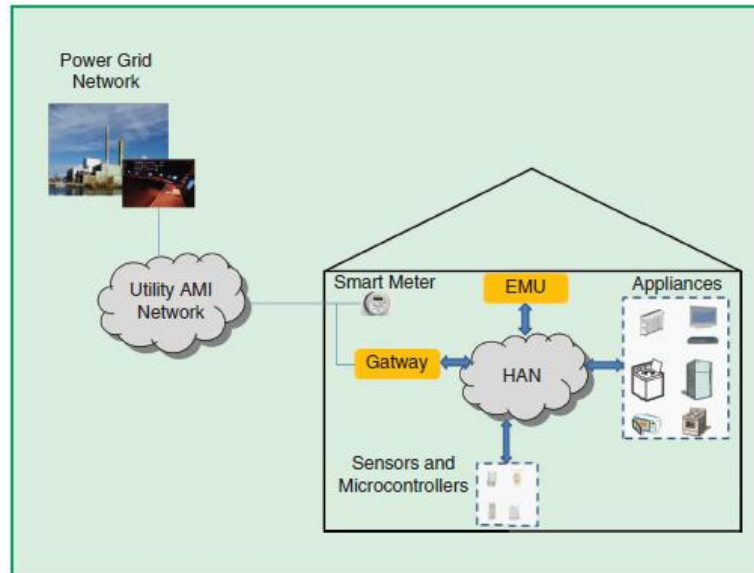


Fuente: LÓPEZ, G. V.; CASTÁN, R.; RAMÍREZ, F.; MALDONADO, D. P.; ANTÓN, F.; DÍAZ, A. Incorporación de electrodomésticos al concepto de red eléctrica inteligente. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Julio, 2010. p. 95-101.

Al interconectar estos sistemas con los electrodomésticos a través de la red de comunicación HAN (Home Area network), permite crear una estrategia de control sobre el consumo energético en el hogar. Adicionalmente, permite interactuar con el operador de red mediante mensajes de tipo bidireccional, es decir, los usuarios tienen acceso permanente a la información en tiempo real sobre el sistema eléctrico, así como la señal de los precios de la energía [36]. La figura No.14

muestra la incorporación de la red de comunicación HAN en el sistema de gestión de energía residencial HEMS.

Figura 14. HAN operando en HEMS.



Fuente: BOUHAFS, F.; MACKAY, M.; MERABTI, M. Links to the Future. IEEE power and energy magazine. Enero, 2012. p. 24-32 [36].

3.7.1 Características de los sistemas de gestión energética HEMS.

Los requerimientos de un sistema de gestión energético deben tener las siguientes características [34]:

- Monitorización de variables ambientales, tales como la temperatura y humedad que pueden ser utilizadas por dispositivos de control inteligente.
- Soporte al control remoto y manual de actuadores.
- Operación de actuadores a bajo costo y bajo consumo energético.
- Monitorización desagregada y continua del consumo energético en el hogar, a nivel de aplicación.
- Soporte a la interacción con otros dominios como el sistema de distribución para la implementación de programas de energía inteligente como: la respuesta a la demanda y la tarifa diferencial.

- Soporte a la integración de fuentes de generación renovables, como energía solar y eólica.

Los sistemas de gestión energética integran tres componentes funcionales. Las comunicaciones, la información y el componente ontológico.

3.7.2 Red de comunicación residencial.

En el hogar inteligente las redes de comunicación deben satisfacer dos necesidades: la primera es lograr comunicación de los dispositivos dentro de la casa y la segunda es conectar el hogar inteligente con la red inteligente del sistema de distribución.

A nivel de las comunicaciones es necesario implementar nuevos tipos de redes para obtener el beneficio que se requiere, empezando por los puntos de consumo, se requiere una HAN (Home Area Network), BAN (Building Area Network) o IAN (Industrial Area Network) dependiendo de si se trata de una vivienda individual, un edificio o una empresa, para gestionar todos los dispositivos inteligentes de una AMI, como los contadores, los termostatos, los electrodomésticos o los vehículos eléctricos.

Para posibilitar la creación de microrredes, habrá que crear una NAN (Neighborhood Area Network) o una FAN (Field Area Network) que agrupe varias de las redes anteriores y, finalmente, una WAN (Wide Area Network) para recoger la información de las microrredes, los PMUs y demás dispositivos de medida dispersos por la red, y conectarlos con los centros de control de las compañías que se encuentran, en ocasiones, a gran distancia [37].

Tabla 6. Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según dominio.

TIPO DE RED	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
Wide Area Networks (WANs)	Generalmente consisten en satélites o antenas instaladas en torres de edificios.	UMTS, EDGE, GPRS, GPS
Metropolitan Area Networks (MANs)	Brindan cobertura en grandes distancias, alrededor de 20 Km	WiMAX
Local Area Networks (LANs)	Provee comunicación para necesidades individuales, como por ejemplo, una empresa, una institución educativa, etc. Usualmente el propio consumidor da manejo a la red.	Wi-Fi, HiperLAN, Etehernet
Personal Area Networks (PANs)	Soporta comunicación entre objetos cercanos como dispositivos móviles.	Bluetooth, RFID, ZigBee, UWB, CEBus, emNET, Homeplug
Body Area Networks (BANs)	Al igual que las PANs están diseñadas para objetos cercanos, con la diferencia que las BANs cubren menor distancia.	BodyLAN

Fuente: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial [32].

- **Home Área Network (HAN).**

Bajo este título se agrupan tanto las HANs como las BANs y las IANs. Una red de área del hogar (HAN) es una red de comunicaciones de corto alcance que conecta electrodomésticos y otros dispositivos en el entorno de una vivienda o edificio. Al combinar las HANs con la AMI, los consumidores podrán monitorizar su uso de energía, a través de pantallas instaladas en sus domicilios, o programar sus termostatos en función del precio de la energía, mientras que las compañías se garantizan un acceso directo a las cargas, lo que les permitirá gestionar de forma más eficiente la demanda.

Tabla 7. Tecnologías más relevantes para implantar a nivel de HAN en una Smart Grid.

Tecnologías aptas para HANs		
Inalámbricas	Cableadas	Mixtas
Wi-Fi	HomePLug	X10
Bluetooth	LonWorks	INSTERON
ZigBee		
6LoWPAN		
Z-Wave		

Fuente: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial [32].

A continuación se describen los tres protocolos de comunicación más utilizados en una HAN.

1. Wi-Fi

Wi-Fi, dada su amplia difusión en el entorno doméstico, es la primera opción para integrar la Smart grid a nivel de HAN. Está basado en el estándar IEEE 802.11, que define los dos niveles inferiores del modelo OSI: las capas física y de enlace. Todas las versiones de 802.11x, aportan la ventaja de ser compatibles entre sí, de forma que el usuario no necesita nada más que su adaptador Wi-Fi integrado, para poder conectarse a la red, que suele tener un alcance de 100 metros aproximadamente. En la actualidad la mayoría de los productos son de la especificación b o g, aunque ya ha sido ratificado el estándar 802.11n que eleva el límite teórico hasta los 600 Mbit/s.

2. Bluetooth

Bluetooth es una especificación que define redes de área personal inalámbricas (WPAN) formalizada en sus niveles más bajos –el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) –, en el estándar IEEE 802.15.1.

Este tipo de redes tienen por cometido la transferencia de información en distancias cortas entre un grupo privado de dispositivos pero, a diferencia de las LAN inalámbricas, están diseñadas para no requerir prácticamente ninguna infraestructura. El objetivo es lograr redes ad hoc sencillas de bajo coste y consumo.

Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia, entre un máximo de 8 dispositivos, en la banda ISM libre de 2,4 GHz –entre 2,4 y 2,48 GHz para ser precisos–, empleando modulación FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) o de salto en frecuencia. Dichos saltos de frecuencia se producen entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1 MHz, lo cual proporciona seguridad y robustez. Al establecerse la comunicación por radiofrecuencia, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden, incluso, estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite.

3. ZigBee

Tecnología de comunicación inalámbrica relativamente bajo en consumo de energía, velocidad de datos, complejidad y costo de la implementación. Es una tecnología ideal para el control de energía, automatización del hogar, y la lectura automática de contadores. El estándar Smart Energy Profile (SEP) 2.0 ha creado un protocolo ZigBee IP estándar e interoperable que conecta dispositivos inteligentes de energía en el hogar de la red inteligente que integre la comunicación entre los medidores y electrodomésticos inteligentes. Otras características del SEP 2.0 son:

- Despliegues de unidades de viviendas colectivas (Edificios y viviendas).
- Soporta múltiples interfaces de servicio de energía en un único lugar.
- Control de carga del vehículo eléctrico (PHEV).
- Soporta estándares reconocidos internacionalmente para garantizar la interoperabilidad a largo plazo con múltiples tecnologías [38], [39], [17].

La comunicación ZigBee es buena opción para la medición y gestión de la energía. Además su implementación en las redes inteligentes es ideal debido a su bajo costo, simplicidad, movilidad, robustez, mínimos requisitos de ancho de banda y que es considerado en protocolo basado en el estándar IEEE 802.15.4, no obstante presenta desventajas como la baja capacidad de procesamiento y capacidad de memoria, suele estar sujeta a interferencias con otros aparatos que utilizan el mismo medio de transmisión [17].

3.7.3 Información en HEMS.

La información de un sistema de gestión energética residencial se compone de dos módulos fundamentales que son la central de datos que corresponde a la recolección, el manejo y el almacenamiento de los datos y la interfaz del usuario la cual es la visualización de la información para ser presentada al usuario. La tabla No.8 muestra la descripción de cada módulo con sus respectivos requerimientos.

Tabla 8. Información del sistema de gestión energética residencial HEMS.

MÓDULO	REQUERIMIENTOS
Central de datos ó Sistema de información	<p>Capacidad de manejo y flujo de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corresponde al manejo de la información del flujo de energía eléctrica utilizando tecnologías de información. • Es necesario que la HAN permita la interoperabilidad de distintos protocolos de comunicación debido a la amplia variedad de actuadores de diferentes propósitos. <p>Capacidad de recolectar y guardar la información</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es fundamental la capacidad del sistema en almacenar la información sobre el consumo energético del usuario a si mismo su almacenamiento con el propósito de realizar comparaciones entre periodos de tiempo y aplicaciones futuras para incentivar el desarrollo de hábitos amigables con el medio ambiente por parte del consumidor.
Interfaz con el usuario	<p>Fácil acceso a datos detallados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los pulsadores deben estar ubicados en la misma pantalla para permitir acceder a la información más detallada. • Puede contener varias gráficas que complementen la retroalimentación al usuario acorde a los datos que el consumidor solicite. • Debe ser flexible en el acceso a la información histórica, permitiendo la comparación entre diferentes periodos de consumo. <p>Provisión de información útil para el ahorro energético:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La versatilidad del sistema de información debe tener la capacidad de sensibilizar al usuario frente a la condición cultural sobre el ahorro energético por medio de la visualización del precio del consumo energético, huella de carbono, mensajes de alerta y consejos para dicho ahorro.

Fuente: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial [32], Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). First IEEE International Conference on Smart Grid Communications. USA, 2010., UENO, T.; INADA, R.; OSAME, S.; TSUJI, K. Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses analysis on how the residents respond. Panels of ECEEE, 2005. p. 1289-1299.

3.7.4 Componente ontológico.

Muchos de los problemas que actualmente acarrea el planeta implican mejora en eficiencia energética. Los usuarios residenciales sin lugar a duda son un sector de vasto potencial en ahorro energético y aunque la revolución de productos e iniciativas en ésta dirección es evidente, las herramientas deben ser diseñadas basadas en principios de comportamiento humano para que tengan el impacto

deseado. Por tanto el diseño de sistemas de gestión en energética y residenciales deben corresponder a la integración de tres criterios: economía, psicología y tecnología [40].

Existe un interés creciente en el uso de técnicas basadas en la ontología de reconocer automáticamente los datos de contexto tales como las actividades humanas. En el área de la computación ubicua, el lenguaje de codificación utilizado es el OWL (Ontology Web Language), el cual, admite un sistema estable e interoperable con otros marcos ontológicos, y junto con el uso de una interfaz de usuario permite construir ontologías de actividad y reconocer las actividades basadas en datos de contexto. A continuación se describen las funciones y los alcances de los diferentes marcos ontológicos que permiten que el sistema de gestión tenga un amplio rango de respuesta y adaptabilidad, y diferentes tipos de escenarios y aplicaciones [32], [41].

- *Dispositivo*: Codifica variables de los electrodomésticos del usuario como por ejemplo, ID, locación y características eléctricas.
- *Servicio*: Codifica una serie de servicios tales como, comunicaciones, seguridad, domótica y entretenimiento.
- *Contexto*: Permite establecer todas las circunstancias que rodean una situación y que permitan entenderla.
- *Usuario*: Establece las preferencias del usuario.
- *Energía*: Codifica órdenes y parámetros de gestión interna y externa, estatus actual y futuro.

3.7.5 Actividades de la vida diaria (ADL).

Las actividades de la vida diaria (ADL) se definen inicialmente en un contexto médico para referirse a las acciones individuales temporales que satisfacen las necesidades para el mantenimiento de la vida, el funcionamiento saludable, el desarrollo personal, y para obtener bienestar y calidad de vida. Las ADL's dependen de los contextos sociales y de los recursos disponibles por cada

persona e incluyen respirar, comer y beber, trasladarse, reposar, dormir, eliminar, evitar peligros, prevenir riesgos, comunicarse e interactuar socialmente, trabajar y divertirse.

Los patrones de consumo energético son un reflejo de las ADLs, las cuales se configuran a partir de rutinas cotidianas individuales y se soportan en gran medida en la infraestructura energética. Es decir, cada actividad o conjunto de actividades implica el uso de la energía y por supuesto de los sistemas eléctricos [42].

4. SERVICIOS CONTEXTUALES ENTORNO A UNA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE RESIDENCIAL.

La mayor fuerza de atracción del sector eléctrico en el siglo 21 será probablemente las tecnologías de la demanda de electricidad, puntualmente, las tecnologías inteligentes que permiten la participación cada vez más amplia de los consumidores en la definición y control de sus necesidades [43]. A partir de los conceptos del capítulo anterior, con una visión más clara del funcionamiento e infraestructura de la red eléctrica inteligente residencial, surge la posibilidad de implementar servicios contextuales o de valor agregado en el ámbito del hogar inteligente (Smart Home) donde se puede automatizar el entorno con los dispositivos requeridos para la alimentación del *contexto-consiente* y que da la posibilidad de personalizar servicios de adaptación y anticipación, y así generar servicios de confort, seguimiento médico, entre otros. Sin embargo, surgen otros tipos de servicios que se desarrollan a partir de la gestión de información recolectada en la red eléctrica inteligente doméstica por medio de las infraestructuras de medición y sistemas de gestión de energía en el hogar. Por otra parte, al usuario poco le interesa que tipo de sensores y dispositivos están integrados en el entorno ó que tipo de arquitectura se despliega. Simplemente les importa el tipo de servicios que se les podrían ofrecer basados en la funcionalidad, como por ejemplo, el confort, el ahorro en dinero, la seguridad de sus datos, etc., adicionalmente sus entradas y salidas para intercambiar información con el proveedor y terceros.

En éste capítulo se busca dar una visión general de los servicios contextuales basados en diferentes aspectos, como gestión de información en la infraestructura de medición avanzada (AMI), la exitosa iniciativa de GREEN BUTTON implementada en los estados unidos que abre la puerta a gran cantidad de servicios por medio de la información sobre uso de energía (EUI) y sensibilidad al

contexto. Obteniendo así servicios enfocados en las aplicaciones de funcionalidad del hogar inteligente.

4.1 Aplicaciones de funcionalidad en un hogar inteligente.

La arquitectura de comunicación y control de un hogar inteligente muestra los diferentes tipos de aplicaciones en los que se desarrollan los servicios contextuales. Estas aplicaciones son [32]:

1. Gestión energética

Uso eficiente en el control de cargas en climatización de edificaciones, monitorización y control del consumo de energía eléctrica e integración de servicios contextuales con la empresa del servicio.

2. Confort, comunicación y entretenimiento

Sistemas programables de control e iluminación, persianas, puertas y diferentes clases de dispositivos residenciales, dispositivos de entretenimiento como televisión, radio, teatro en casa y dispositivos Wi-Fi e integración de los diferentes protocolos de comunicación dentro de una red casera elocuente.

3. Protección y seguridad

Sistemas de detección de intrusos y monitorización, operaciones seguras de equipos técnicos y asistencia médica en caso de emergencia o usuarios con discapacidades.

Estas aplicaciones serán la visión para la innovación en los servicios ofrecidos a los consumidores en el entorno del hogar inteligente.

4.2 Gestión de información en la red eléctrica inteligente residencial.

Los principales proveedores de energía eléctrica están experimentando una transformación tecnológica, que incluye la implementación de dispositivos inteligentes, sistemas de comunicación bidireccional, y tecnologías de la información para permitir una mayor vigilancia y control sobre sus sistemas de distribución de energía. Estas tecnologías de información dan paso a un mayor flujo de datos que a su vez tendrán que ser almacenados y proporcionarles un proceso de gestión. La generación de información de las infraestructuras de la red eléctrica inteligente residencial como AMI, SCADA, y otros dispositivos inteligentes puede ser significativa, lo que originaría un aumento en las habilidades de las tecnologías de información y consecuentemente el costo [44]. Una alternativa a la captura y almacenamiento de todos los datos es utilizar metodologías de ingeniería de la información que examinen las posibles utilidades y aplicaciones que se les pueden asignar. Por ejemplo, en la iniciativa GREEN BUTTON se logró que al contar con un AMI se pueden obtener la cantidad energía en KWh que está consumiendo el usuario en tiempo real, esto puede ser muy útil pero será aún más si se acompaña con otro tipo de información como el nombre de la cuenta, número de medidor, entre otros, con el fin de generar la mayor cantidad de servicios posibles por parte de empresas ajenas a los proveedores de energía eléctrica.

En general, la visión en la red inteligente depende en gran medida en la precisa adquisición de datos, ya sea de la energía que se consume como de la que se produce e incluso otro tipo de datos propios de los usuarios. Lo que indica que la monitorización, el control y la comunicación desempeñan un papel importante en la infraestructura de la red eléctrica inteligente. Sin embargo, no es suficiente con obtener información sin ofrecer tratamiento o gestión a la misma. Se debe suministrar un tratamiento adecuado a la gran cantidad de información recopilada, lo cual brindará grandes posibilidades de implementar servicios que dependan de información en tiempo real, como por ejemplo, gestión de la demanda, tarifas

diferenciales de precios de la energía eléctrica, entretenimiento, confort, servicios públicos, servicios sensibles al contexto, etc. Por otra parte, la información recopilada en una red eléctrica inteligente no solo les interesa a los usuarios y a los operadores de red, sino también a terceras empresas ya sea de consultoría energética para dar manejo al consumo de energía, mantenimiento de equipos, entretenimiento, seguridad, fabricantes de electrodomésticos, entre otras, las cuales podrán crear estrategias de marketing de sus productos y servicios para ofrecerlos a los consumidores. Este trabajo se enfocará en dos formas de cómo obtener la información del usuario, la primera será por medio de la infraestructura de medición avanzada (AMI) y la segunda desde el punto de vista de la sensibilidad al contexto.

4.3 Gestión de Información en la infraestructura avanzada de medición (AMI).

La infraestructura de medición avanzada (AMI) típicamente consiste en la medición, comunicación y sistemas de gestión de datos, que ofrece el transporte bidireccional de datos de uso de energía del consumidor y señales de control entre los usuarios y los centros de control de los proveedores de servicios públicos. AMI fue desarrollado del sistema de medidores de lectura automática (AMR) que consiste en infraestructura de comunicación unidireccional que recoge automáticamente las mediciones de los consumidores. Por lo tanto al ser AMI la próxima generación de medición, aumenta la frecuencia en la recolección de datos mensual, generalmente cada 15 minutos.

Los medidores inteligentes del AMI cuentan con una red de área local (HAN) de la cual se pueden vincular directamente dispositivos de consumo como termostatos y electrodomésticos. Sin embargo, la red de medición se puede convertir en una mezcla de diferentes protocolos dificultando la interoperabilidad de los dispositivos [43]. Para los consumidores, la información proporcionada por AMI ofrece la

oportunidad de reducir los gastos de energía eléctrica; para los proveedores de servicios públicos ofrece una forma concreta de impulsar la eficiencia operativa e influir directamente en los patrones de consumo.

Las normas técnicas ANSI C12.19 y OPEN AMI propuestas por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología relacionan la composición del AMI así mismo como su información. El estándar ANSI C12.19 es un modelo general de información de medición que se apoya bajo los dominios de los servicios públicos de energía eléctrica, gas y agua. Existen dos versiones la ANSI C12.19-1997 y ANSI C12.19-2008 [43], ésta última abarca los conceptos de los avances más recientes en AMI y contiene una serie de tablas predefinidas y procedimientos para el manejo de ellas. En la tabla No.9 se presenta la información más relevante.

Tabla 9. Información relevante del estándar ANSI C12.19-2008.

Dominio	Información
Energía eléctrica	Potencia, Tensión, Corriente, Porcentaje de distorsión armónica total (THD), Ángulo de fase, Número de eventos, Calidad de la energía.
Agua	Volumen, flujo de líquido por hora.
Gas	Volumen, temperatura, presión, energía.

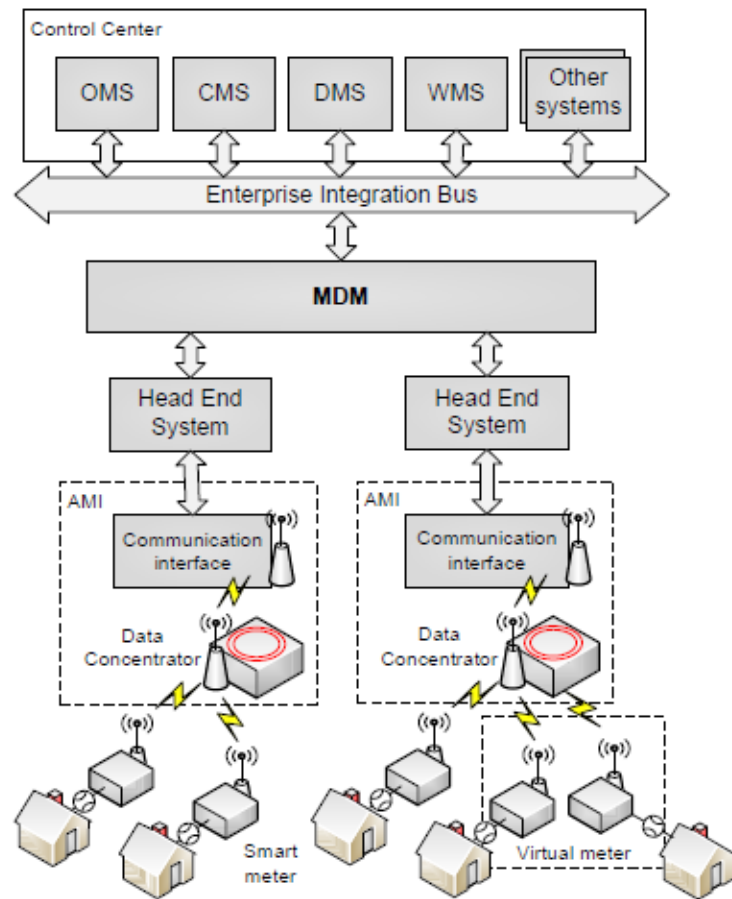
Al proporcionar información de consumo de energía mediante la infraestructura de medición avanzada (AMI) y medidores inteligentes a través de valores de las variables eléctricas como por ejemplo, la potencia eléctrica, la tensión, la corriente, THD, etc., se pueden proporcionar beneficios al operador de red en cuanto a monitorización y mejoramiento de la eficiencia en el suministro eléctrico. Además el análisis automático de los datos de consumo de energía que generan información sobre la actividad de los usuarios es esencial para dar una retroalimentación efectiva en el tiempo, y en servicios como el control automático

de carga basada en información de contexto. Esto es posible al extraer los datos de consumo de energía mediante el concepto de las actividades de la vida diaria (ADL) para obtener tareas de información de contexto como la identificación y ubicación de electrodomésticos eléctricos [45].

4.3.1 Sistema de gestión de datos de medición (MDM).

El sistema de gestión de datos de medición funcionalmente puede simplificar la integración de sistemas AMI y facilitar la distribución de datos del medidor a través de la empresa de servicio público por medio del buen manejo de la gran cantidad de datos. El MDM intercambia esencialmente información entre diferentes sistemas AMI y aplicaciones de la red inteligente. Por ejemplo, al obtener los datos de energía de los usuarios y aprovechando la funcionalidad un sistema de información del cliente (CIS) a través de la infraestructura AMI+MDM (ver figura No.15), se puede ofrecer planes de precios flexibles basados en las unidades de tiempo de uso (TOU) [46]. Las empresas que implementen el sistema de gestión de datos de medición en una plataforma de servicios orientados (SOA) estarán mejor posicionadas para obtener facilidades de integración y beneficios de la red inteligente [31].

Figura 15. Integración de los sistemas AMI y MDMS.



Fuente: VUKMIROVIC, S.; ERDELJAN, A.; KULIC, F; LUKOVIC, S. A Smart Metering Architecture as a step towards Smart Grid realization. IEEE International Energy Conference, 2010. p. 357-362.

4.3.2 Sistema de información del consumidor (CIS).

Un sistema de información del consumidor (CIS) es fundamental para garantizar la satisfacción del cliente y cumplir con los requisitos de facturación. Un CIS maneja datos de la cuenta, del consumo, de facturación, y ofrece una solución única para el seguimiento de todas las interacciones con sus clientes.

4.4 Iniciativa Botón Verde (Green Button).

En agosto de 2010 el departamento de asuntos de veteranos (VA)⁸ lanzó originalmente junto con la industria el botón azul sin finalidad de lucro, solo con la simple idea que los consumidores deberían tener la capacidad de acceder y descargar la información de su propia salud. El presidente de los estados unidos Barack Obama anuncia: *“Por primera vez, los veteranos serán capaces de ir a la página web de asuntos de veteranos (VA) y haciendo un “click” en el botón azul puede descargar e imprimir sus datos de salud e incluso compartílos con su médico”*.

Durante la semana nacional de la tecnología de información de la salud (National Health IT Week) llevada a cabo en septiembre de 2011, la secretaria del HHS (Departamento de salud y servicios humanos) Kathleen Sebelius anunció la creación de *bluebuttondata.org* por parte de la fundación Robert Wood Johnson. Un nuevo sitio web que avanza en procura que los consumidores puedan tener acceso directo y descargar sus datos personales de salud y además poderlos compartir con sus proveedores de servicios de salud simplemente haciendo “click” en el Blue Button (Botón azul).

Posteriormente, surge la pregunta: ¿Podría aplicarse el mismo concepto a la industria energética con un “botón verde”?, en donde los usuarios tengan acceso a los datos de consumo energético fácilmente descargables y en un formato de fácil lectura ofrecido por su proveedor de servicio de energía.

Fue así como el 15 de septiembre de 2011 el director de tecnología de los Estados Unidos Aneesh Chopra desafió al ecosistema de las redes inteligentes para cumplir la visión del botón verde y proporcionar a los clientes acceso a su

⁸ El departamento de asuntos de veteranos de los Estados Unidos (Department of Veterans Affairs, VA) es una entidad gubernamental establecida en 1989 cuya función es gestionar el sistema de beneficios a veteranos militares como por ejemplo, servicios de salud, pensiones, educación de familiares, préstamos hipotecarios, entre otros. Ver más: <http://www.va.gov>.

información de uso de energía por vía electrónica. Y resaltó: *“con esta información a su alcance, los consumidores serán los únicos facultados para tomar decisiones más informadas acerca de su uso energético y combinarlas con oportunidades para tomar medidas correctivas con el poder de controlar activamente su uso de energía. Por otra parte con la información disponible en formatos estándar, ayudará a impulsar nuevas aplicaciones de consumo y dispositivos innovadores de emprendedores, grandes empresas, e incluso estudiantes. Imagine ser capaz de revisar su aparato de aire acondicionado desde su teléfono inteligente ó obtener consejos personalizados muy simples para ahorrar energía y dinero”* [47].

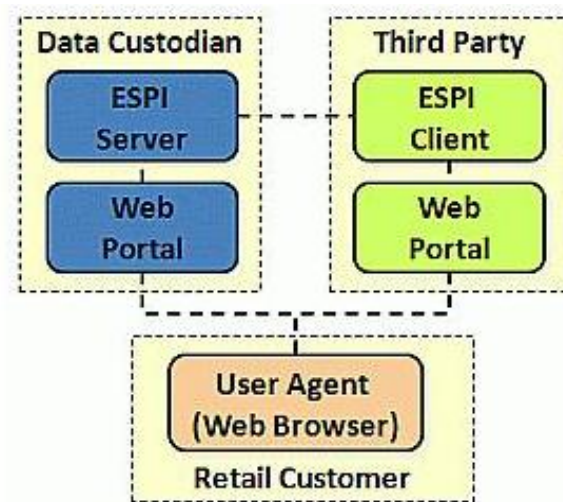
4.4.1 Especificaciones y estándares.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías (NIST) inició el grupo de interoperabilidad de redes inteligentes (SGIP) para tener un apoyo en el cumplimiento de su responsabilidad, en virtud de la ley de independencia energética y seguridad de 2007, para coordinar el desarrollo de normas para la red inteligente. La SGIP es un medio para el NIST solicitar la opinión y cooperación de las partes interesadas del sector público y privado en el desarrollo del marco normativo de redes inteligentes [48].

En el documento *“NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0 (Febrero de 2012)”* [49] se establece una descripción de las normas existentes y las nuevas especificaciones que se implementan en la red inteligente. En un esfuerzo por desarrollar estándares de interoperabilidad a en los niveles de consumo, NIST y SGIP han coordinado junto con NAESB (North American Energy Standards Board) estandarizar el uso de datos de energía del consumidor e interfaces para el acceso de terceros a la información con base en los medidores inteligentes, para ese propósito se desarrolló la norma ESPI (Energy Services Provider Interface), la cual tiene como objetivo crear un proceso estandarizado y de interfaz para el intercambio de información sobre el uso de energía (EUI) de un usuario residencial entre su distribuidor y un tercer proveedor de servicios previamente autorizado por el usuario, es decir, proporciona un

método para la autorización de acceso de terceros a la información de uso de energía de los consumidores y una interfaz estándar para el intercambio de la información que apoya el desarrollo de productos innovadores que le permitan al usuario entender mejor su consumo de energía y así poder tomar decisiones más económicas sobre su uso energético (ver figura No.16). Por otro lado, el grupo de trabajo NAESB ESPI ofrece prácticos modelos de negocio, casos de uso, y esquemas XML que describen los mecanismos para el intercambio de información del uso de la energía [50].

Figura 16. Estructura propuesta por el estándar ESPI.



Fuente: https://www.naesb.org/ESPI_Standards.asp.

Otros grupos de trabajo de normas para el desarrollo de la iniciativa del botón verde se describen a continuación:

1. OpenESPI

El proyecto OpenESPI proporciona soporte para el desarrollo de componentes ESPI que le ayudarán a participar sólida y rápidamente a la comunidad con esta tecnología específica incluyendo un código abierto, licencia pública de implementación, perfiles y pruebas para desarrollos comerciales.

OpenESPI consiste principalmente en dos componentes, el primero un custodio de datos (Data custodian) y un tercero (Third Party), en donde cada uno implementa las funciones correspondientes de la norma ESPI. Estos componentes se pueden utilizar como punto de partida para la aplicación formal basada en el estándar. Además, pueden ser utilizados para probar implementaciones con respecto a una referencia de trabajo. Su diseño establece que el custodio de datos y terceros puedan ser utilizados por un instrumento de prueba para articular pruebas de conformidad que incluyen una conducta correcta e incorrecta para verificar la robustez de una aplicación [51]. Por último en la tabla No.10 se ilustran las cuatro interfaces de exponen los dos componentes.

Tabla 10. Interfaces de los componentes: Custodio de datos y los terceros.

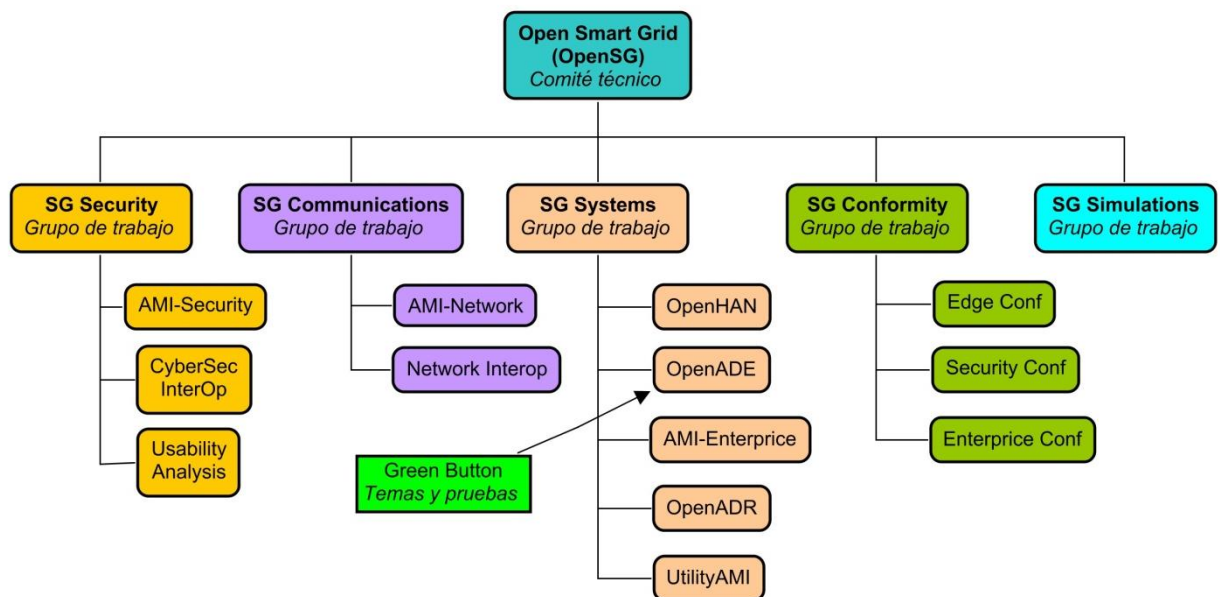
INTERFAZ	DEFINICIÓN
Autenticación	Se utiliza para aplicar el mecanismo de autenticación OAuth, el cual es un método que proporciona a los usuarios un acceso a sus datos al mismo tiempo que protege las credenciales de sus cuentas.
Transferencia	Se utiliza para el intercambio de información de uso de energía (EUI) de acuerdo con el modelo de datos ESPI.
Back End	Se utiliza para simular un depósito de servicios de la EUI, especialmente en el custodio de datos.
Articulación de prueba	Corresponde a una interfaz de prueba que puede dirigir el código para implementar una conducta correcta e incorrecta para poner a prueba la interfaz.

Fuente: <https://github.com/energyos/OpenESPI-wiki/wiki/About-Open-ESPI>.

2. OpenSG y OpenADE

OpenSG es un comité técnico que prioriza las iniciativas técnicas y que a través de OpenADE está ayudando en la prueba de casos de implementación del botón verde (ver figura No.17). OpenADE es un grupo de proveedores de gestión de energía inteligente, servicios públicos e intereses del consumidor en desarrollo de recomendaciones con el objetivo de construir intercambios interoperables de datos que permitan la autorización del cliente y el intercambio de información sobre consumo de servicios públicos con terceros que se encarguen de ofrecer otro tipo de servicios al usuario [50].

Figura 17. OpenADE sub-grupo de trabajo de OpenSG.



Fuente: <http://osgug.ucaiug.org/default.aspx>.

3. PAP 10

Los planes de acción prioritaria (PAPs) surgen con la necesidad de estandarizar la información sobre el uso de la energía para informar al consumidor. A través de los esfuerzos del NIST y la SGIP en diciembre de 2010 se formó esta que define

un modelo de información sobre el uso de energía (EUI) para el desarrollo e interoperabilidad entre múltiples estándares.

4. PAP 20

PAP 20 apoyará una inclusión fuerte y rápida de los bienes y servicios interoperables para fomentar el intercambio de información sobre el uso de energía (EUI).

En general, las principales ventajas que los estándares de botón verde ofrecen a los consumidores son [52]:

- Disponibilidad de datos detallados sobre el uso de energía en formato estándar para entender y encontrar alternativas para cambiar el consumo y reducir el precio en las facturas.
- Capacidad de los consumidores a compartir sus datos de uso de energía con terceros y desarrolladores de aplicaciones.
- Fácil intercambio de datos entre los consumidores y terceros.
- Fomentar conciencia del uso de energía en los consumidores e innovación en los desarrolladores de aplicaciones y servicios.
- Fomentar la evaluación de las inversiones de eficiencia energética.
- Permiten optimizar la rentabilidad de las fuentes renovables del consumidor.
- Brinda soporte a las auditorías energéticas para empresas y hogares.

4.4.2 Desarrollo de la iniciativa botón verde.

En respuesta al llamado de Aneesh Chopra las tres empresas de servicios públicos más grandes de California SDG&E (San Diego Gas and Electric), SCE (Southern California Edison) y PG&E (Pacific Gas and Electric) trabajaron junto a la comisión de servicios públicos de California (CPUC) para crear un enlace que permitiría a los clientes acceder en línea a su consumo de energía, donde adoptaron objetivos del marco regulatorio de la red del siglo XXI para asegurar

que los consumidores tengan el acceso oportuno a la información que pueda ayudarles a gestionar mejor su consumo energético y aprovechar las oportunidades para reducir sus costos [53]. A partir de los estándares ya establecidos por los organismos regulatorios, el primer paso fue definir los requisitos para la implementación del botón verde (ver figura No.18), la estructura del botón verde dentro del dominio del consumidor y su integración con la red inteligente (ver figura No.19). En vista a sus avances en la iniciativa del botón verde, para el año 2012 habían implementado el botón verde alrededor de 47 empresas y otras 37 estaban comprometidas a implementarlo [54].

Figura 18. Requisitos de la tecnología botón verde.

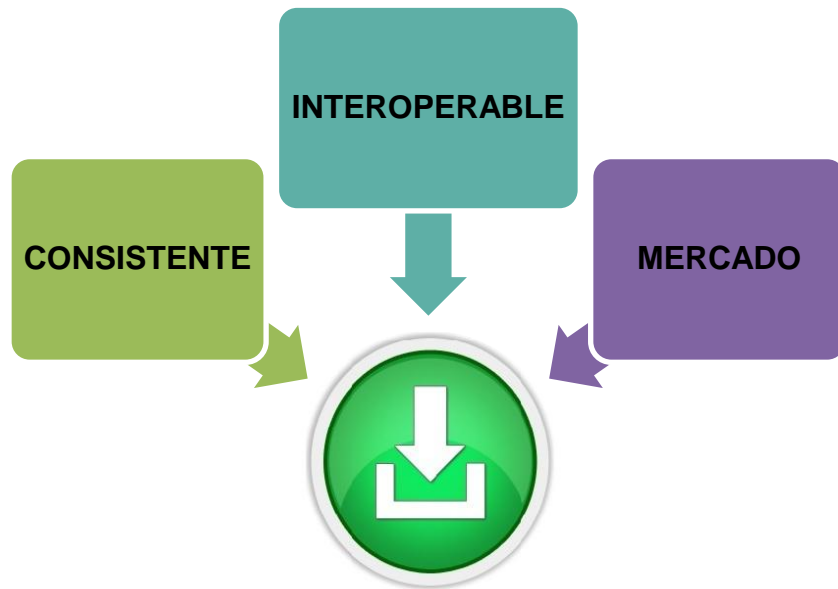
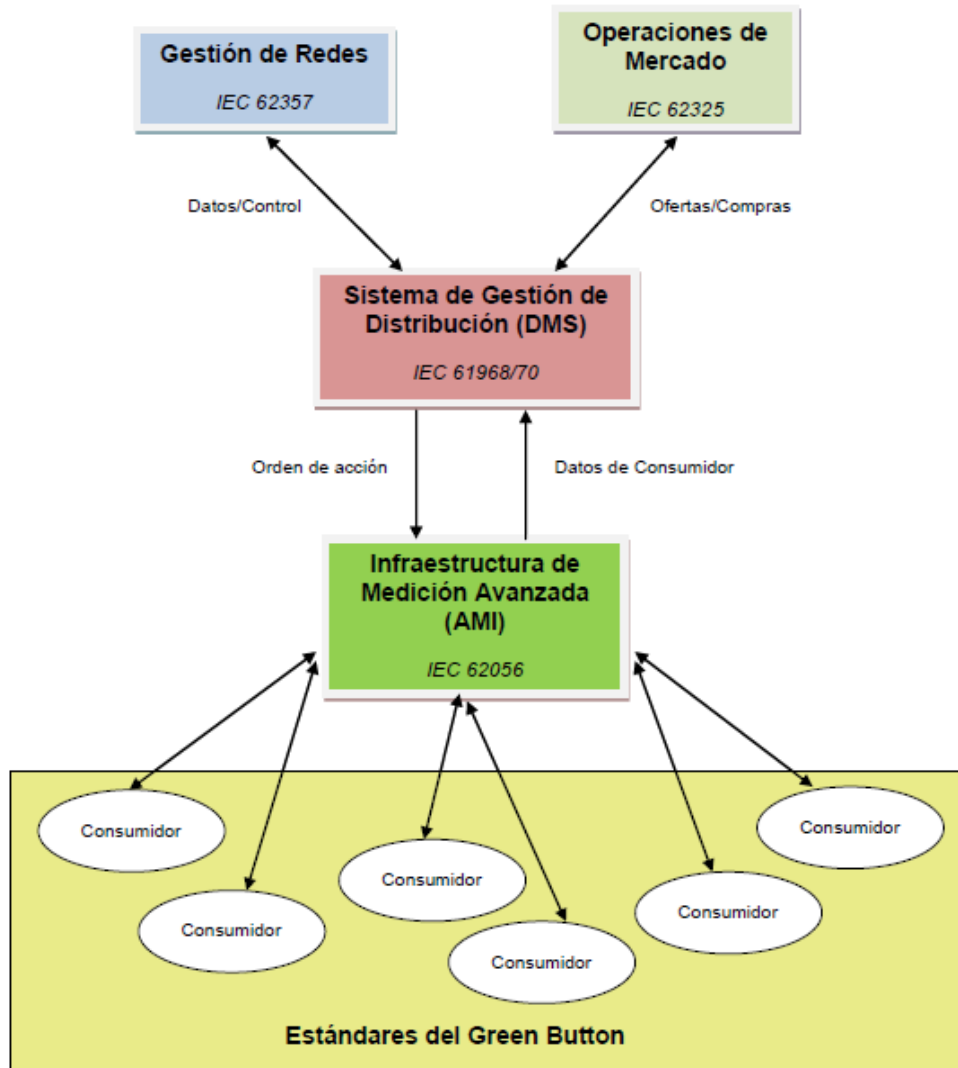




Figura 19. Integración del botón verde con la red eléctrica en el dominio del consumidor.



Fuente: BALIJEPALI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Department of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013 [52].

En el portal web de las empresas que implementaron la iniciativa del Green Button se pueden identificar dos tipos (ver tabla No.11) de acceso definidos de acuerdo a los estándares vistos anteriormente.

Tabla 11. Descripción de los botones de descarga y autorización de acceso a datos.

TIPO	DESCRIPCIÓN	LOGO
Green Button Download My Data	Los clientes pueden acceder a su cuenta en el sitio web del proveedor y hacer "click" en el botón verde para descargar su información sobre el uso de energía de hasta 13 meses y almacenarlos como archivo en su ordenador.	
Green Button Connect My Data	Es una interfaz de software que permite a los clientes otorgar a los desarrolladores y proveedores de servicio acceso directo a sus datos de uso de energía. El acceso se concede por un periodo de tiempo determinado, y el cliente posee el derecho de revocar el acceso de terceros en cualquier momento.	

4.4.3 Información sobre el uso de energía (EUI).

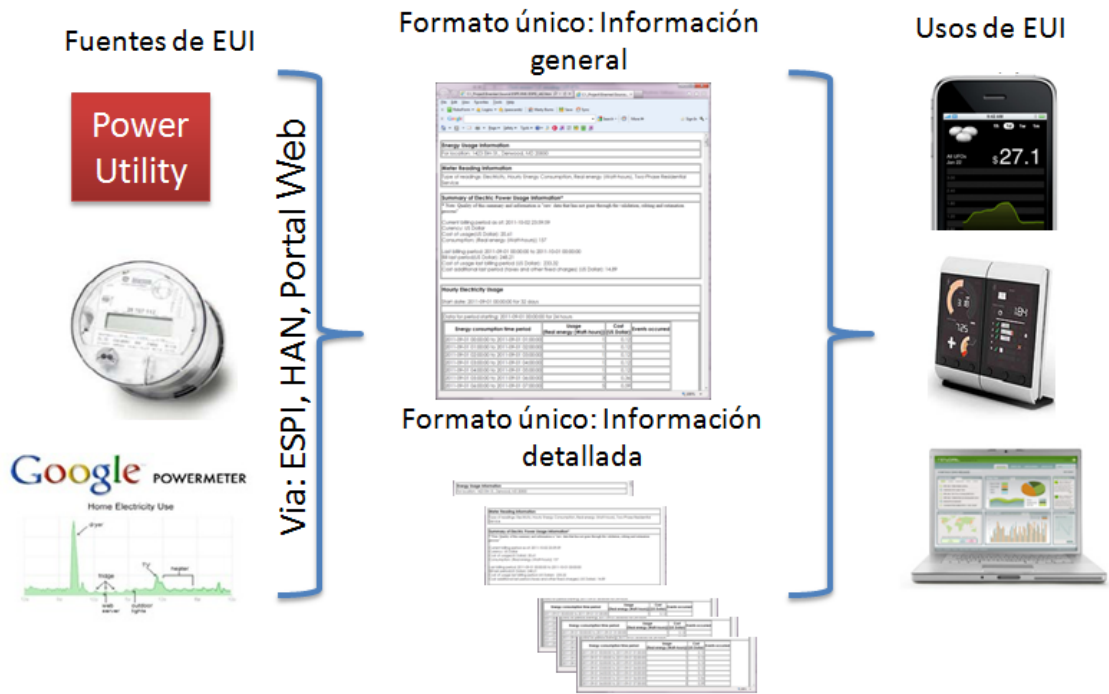
Actualmente, la información sobre el uso de energía (EUI) se obtiene de hogares y negocios de los usuarios. Existen dos dimensiones en el uso de energía que incluyen información y datos, y el dialogo e interacción, en donde las interacciones se basan en la misma representación de datos. Las principales clasificaciones de la EUI son [55]:

- **Identificación:** Consiste en la identificación de la fuente de la información, incluyendo la forma en que fue adquirida. En algunas aplicaciones de disponibilidad de la información sobre el uso de energía ésta identificación puede contener información sensible a la privacidad por tanto se separa del resto de clasificaciones.

- **Resumen de información:** Contiene un resumen de uso actual de energía y de algunas fechas anteriores. Además proporciona algunas referencias de comparación.
- **Componentes de medición:** En esta clasificación se encuentran la información detallada minuto a minuto/hora a hora/día a día del uso de energía. Este componente está diseñado para representar cualquier conjunto de mediciones de energía (Wh), potencia activa (W), potencia reactiva (KVAr), voltaje (V) e incluso temperatura (°C).

Los entornos de ejecución más frecuentes de la información sobre uso de energía (EUI) se dan cuando se hace la lectura del medidor al originar dicha información, cuando el consumidor participa en un programa de respuesta a la demanda su EUI que incluye los costos es clave para poder analizar sus resultados, además cuando se establecen planes de ahorro energético se toma como referencia la EUI para estudio y planificación, y por otro lado los electrodomésticos y dispositivos que operan en nombre de los consumidores pueden beneficiarse del conocimiento de anteriores perfiles de uso. En general, al originarse la EUI e inmediatamente tener un control sobre el consumo de energía y sea expresado en un formato fácil de interpretar por parte del consumidor, se puede hacer uso de esta información desde cualquier lugar por medio de dispositivos como el teléfono inteligente, computadora o cualquier pantalla digital que contenga una conexión al portal web como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. Vías alternativas de EUI y formato único de información.



Fuente: http://collaborate.nist.gov/twiki-sgrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#Green_Button_ICONS.

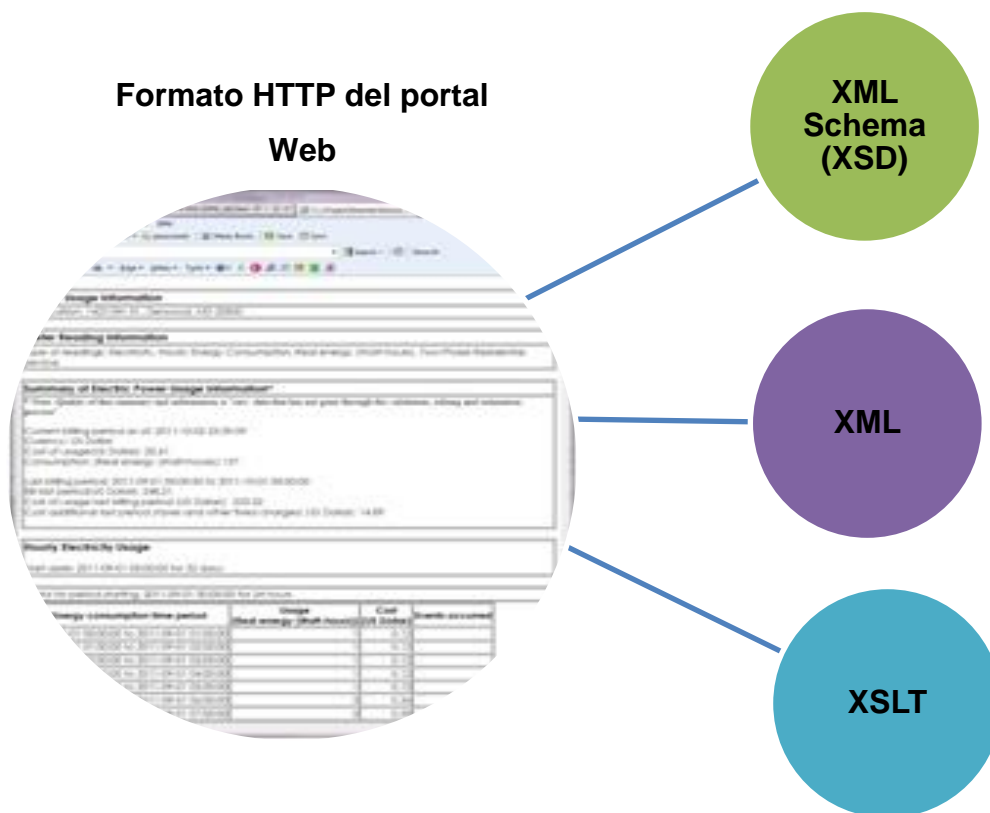
El formato de lenguaje de marcado extendible (XML) es un formato simple basado en texto para representar información estructurada, como por ejemplo, documentos, datos, transacciones, facturas, entre otros. Fue derivado de un formato estándar antiguo llamado SGML, con el fin de ser más adecuado para uso Web. XML tiene múltiples ventajas sobre muchos otros formatos. Algunas de ellas son [56]:

- Estructuras de datos jerárquicos flexibles.
- Puede contener descripción del estilo de presentación fácil de usar cuando se abre en el navegador web.
- Puede ser transformado en CSV.
- Adecuado para tecnologías de bases de datos y comunicaciones.
- Incorpora otras tecnologías como SOAP, atom, etc.

- Puede ser representado como archivo plano.
- Pueden ser leídos por programas como Excel.

El formato estándar para la representación de la EUI surge producto de la integración de modelos de lenguaje XML con formatos XML Schema (XSD) y XSLT. El formato XSD es utilizado para describir las restricciones de los documentos XML de forma precisa y el formato XSLT que se encarga de transformar documentos XML en HTML ó XHTML, por lo tanto la unión de XML y XSLT permite separar contenido y dar una mejor presentación de la información. En la figura No.21 se muestra la integración de los lenguajes que dan origen al formato estándar de EUI.

Figura 21. Integración de los diferentes formatos XML al formato HTTP del portal Web.



Fuente: http://collaborate.nist.gov/wiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#Green_Button_ICONS.

4.5 Servicios basados en medición inteligente para usuarios residenciales.

Dentro de las funciones de AMI se encuentran la lectura automática de consumo y gestión de energía, de los cuales se pueden desarrollar servicios de respuesta a la demanda (DR), tarifas diferenciales de energía, control de carga y energía prepagada, que se pueden potencializar y facilitar por medio de la iniciativa del botón verde.

4.5.1 Respuesta a la demanda (DR).

Los servicios adicionales que incluyen respuesta a la demanda (DR) pueden ser proporcionados a través de comunicación bidireccional con el consumidor por intermedio del AMI. La respuesta a la demanda (DR) es una solución alternativa para reducir los períodos de pico de potencia y disminuir la demanda en horas pico. Además, en las regiones con alta penetración de las energías renovables. Programas de DR permiten a los clientes gestionar su consumo de electricidad en respuesta a las condiciones de la oferta.

Al contar con información en tiempo real del consumo de los clientes, el sistema propiciará un cambio en el modelo tradicional de consumo de energía, pues los clientes tendrán a disposición las variaciones momentáneas de los precios, los cuales serán suministrados por la empresa proveedora, normalmente destinados a promover un menor consumo, debido a costos en hora pico o bien sea por causas de confiabilidad, de problemas de sobrecargas, etc. Esto facilitará los posibles cambios en los modos tradicionales de uso de energía y la adquisición de nuevos hábitos que ayudarán a mejorar la eficiencia y la calidad de la energía eléctrica [31].

4.5.2 Facturas de servicios públicos.

Los esquemas de precios propuestos para la red inteligente son precios en tiempo real (RTP), precios por tiempo de uso (TOU) y precios en picos críticos (CPP).

Los planes tarifarios en el mercado de la energía eléctrica les permite a los usuarios ahorrar dinero relacionado al pago de su consumo energético. Algunos de los tipos de tarifas que se presentan en el mercado de energía se describen a continuación:

1. Tarifa plana.

La tarifa plana permanece sin variación a lo largo del tiempo y se establece de acuerdo a las regulaciones del mercado de energía eléctrica.

2. Precios en picos críticos (CPP).

Ofrece beneficios a los clientes al desplazar o reducir el consumo de electricidad durante eventos o temporadas críticas, como por ejemplo en escasez energética o incrementos de demanda por temporada (verano o inviernos extremos).

Los eventos CPP son limitados en número y duración, y se activan por razones muy especiales. Cuando la demanda aumenta significativamente, se comunica a los clientes anticipadamente su oportunidad de beneficiarse, posiblemente con descuentos, evitar recargos u otros incentivos, para reducir la demanda. A veces este esquema tarifario se combina con la tarifa plana o de precio TOU [31], [57].

3. Precios en tiempo real (RTP)

El consumidor está informado acerca de las tasas de fijación de precios con base horaria ya que pueden cambiar las tarifas por hora. Los precios se fijan normalmente con un día de antelación. En ésta tarifa se reflejan los costos marginales de producción de una mejor manera, y los precios más bajos pueden ser proporcionados durante períodos de baja demanda [57].

4. Precios por tiempo de uso (TOU).

Consiste en dividir el día en un número fijo de intervalos de tiempo, para los cuales se aplican diferentes precios de la energía eléctrica. Además, refleja el mayor costo marginal de producción de la energía durante la hora pico de la tarifa

consumida. Las diferencias de precio entre los intervalos son un incentivo para que el cliente cambie sus hábitos de uso con el fin de consumir en las horas con tarifas más económicas [57].

4.5.3 Control de carga directa (DLC).

Un enfoque de la gestión de carga residencial es el control de carga directo (DLC) que se basa en un acuerdo entre el proveedor de energía y los consumidores, en donde se puede controlar la iluminación, aire acondicionado, ventilación, refrigeradores y bombas.

4.5.4 Energía prepagada.

Por medio de este servicio el usuario puede adquirir una tarjeta inteligente o recargas virtuales a través de la Web, permitiéndole acceder a la prestación del servicio de energía eléctrica. El medidor descuenta progresivamente el dinero recargado con relación a la energía que va suministrando hasta que el saldo llegue a cero, en este punto interrumpirá el suministro eléctrico. Los beneficios que se pueden obtener por este servicio de energía prepagada son:

- Se reduce la posibilidad de errores en la facturación.
- No se generan costos adicionales con respecto a la prestación del servicio, lecturas de medidores y transacciones realizadas.
- La cantidad de energía adquirida no posee fecha de vencimiento, permitiendo su disponibilidad en cualquier instante.
- El usuario adquiere mayor conciencia energética al conocer constantemente el precio que tiene la utilización del servicio.

4.6 Servicio sensible al contexto.

En la actualidad la palabra “inteligente” está de moda en varios sectores de la sociedad e implica muchos aspectos, entre ellos, los servicios con características inteligentes. Un aspecto clave de los servicios inteligentes son los diferentes tipos

de contexto que junto con tecnologías de sensores y disponibilidad de dispositivos se convierten en fuente de información de la que se puede inferir situaciones y servicios específicos para cada una de ellas que cumplan con cualidades como disponibilidad, transparencia, conciencia y confiabilidad. No obstante existe una gran deficiencia en cuanto a aspectos técnicos como en el área de la plataforma de software para el desarrollo y despliegue de dichos servicios.

Existen numerosas definiciones de un servicio inteligente, sin embargo, todavía no existe una definición universal. Según Jae, Moon, Hyun, y Soo *“Un servicio inteligente es un servicio de software que ayuda con una alta productividad en la realización de actividades de la vida diaria de los seres humanos, una mayor calidad de los servicios prestados, y una comunicación eficaz entre las personas y los dispositivos”*. Por lo tanto, el objetivo final de los servicios inteligentes es mejorar la calidad de las experiencias de la vida diaria del consumidor [58].

Los servicios contextuales e inteligentes deben estar constantemente disponibles independientemente del cambio de entorno o usuario. Existen dos tendencias complementarias en la creación de entornos inteligentes. La primera con dispositivos lo suficientemente pequeños para ser casi invisibles e impregnar los artefactos de nuestros hogares, y la segunda crear artefactos inteligentes para construir el entorno inteligente. Sin embargo, en el entorno del Smart Home el servicio debe integrarse con las tecnologías y dispositivos existentes, en lugar de desarrollar cada entorno por separado [59].

4.6.1 Definición de contexto.

Para proporcionar el servicio más adecuado, es necesario observar y recopilar información del entorno del usuario. El término contexto-consciente (context-aware) ó también llamado sensible al contexto, hace referencia a un tipo de comportamiento de computación inteligente. Para los seres humanos, la sensibilidad al contexto corresponde a la capacidad esencial para la comprensión de información implícita para caracterizar situaciones asociadas con actividades

de la vida diaria (ADL). Además, incluye el estudio del entorno del usuario como la situación social, y el entorno físico, como el nivel de iluminación, etc. Para los sistemas de computación, sin embargo, la “conciencia” que se tenga del contexto será la capacidad de proporcionar servicios e información relevante para los usuarios en función de sus condiciones situacionales (contextos) [60], por ejemplo, por medio de los sistemas de computación se puede extraer información contextual de sensores en el caso que la iluminación y el TV de un dormitorio se apaguen a media noche y permanezcan en ese estado durante 30 minutos, automáticamente el sistema puede inferir que el usuario está dormido e inmediatamente envía una orden para desactivar las luces que hayan quedado prendidas en otras partes de la casa en donde no se detecte presencia de otra persona con el fin de reducir el consumo de energía. Además si las actividades se concentran en un lugar específico del hogar, como la cocina o dormitorio, el programa de ahorro de energía ofrece una guía y control automático de potencia a los usuarios con el mismo propósito. Para la recopilación de información *Joelle Coutaz* [61] plantea la implementación de un sistema de sensibilidad de contexto que ejecuta la observación y recolección de información del entorno del usuario. En la figura No.22 se muestra los niveles del sistema de conocimiento de contexto.

Figura 22. Niveles de abstracción necesarios para el sistema de sensibilidad de contexto.

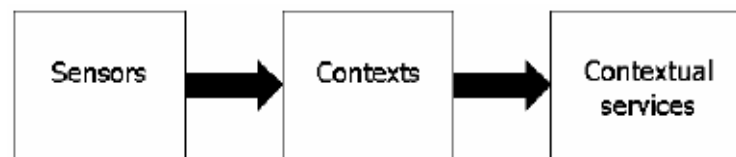


Fuente: COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S.; GARLAN, D. Context is Key. Communications of the ACM. Vol. 48. No. 3, Marzo, 2005 [62].

Por otra parte en [62] fusionan las capas de percepción y detección en una gran capa de percepción que incluye el uso de sensores que permiten cuantificar un fenómeno físico. La arquitectura de percepción de contexto (ver figura No.23) hace

posible adquirir información contextual del usuario y su entorno; esta arquitectura está compuesta por tres niveles. El primer nivel corresponde a los sensores quienes se encargan de la adquisición de datos de contexto, en el segundo nivel se ubica el contexto quien explota éstos datos y proporciona una mayor información semántica, y en el último nivel hace referencia al uso y gestión de la información con el fin de proporcionar los servicios [62].

Figura 23. Arquitectura de percepción de contexto.



Fuente: COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S.; GARLAN, D. Context is Key. Communications of the ACM. Vol. 48. No. 3, Marzo, 2005 [62].

Es importante resaltar que en la actualidad existen grandes retos en la construcción de sistemas sensibles al contexto, desarrollo de sensores precisos para adquirir información del entorno físico, infraestructura de software y herramientas para interpretar y gestionar la información capturada así como garantizar la seguridad y privacidad en dichos sistemas. Sin embargo, en la tabla No.12 se ha definido la una organización fundamental para describir un entorno inteligente.

Tabla 12. Organización para describir el entorno inteligente.

CAPAS DE ORGANIZACIÓN	DEFINICIÓN
Capa física	<ul style="list-style-type: none"> • Es la capa más cercana al mundo real. • Se encarga de capturar información del entorno a través de sensores, y de transmitir las respuestas al usuario utilizando dispositivos visuales como pantallas LCD. • Distribuye la información, tanto de entrada como de salida, entre los componentes del hogar inteligente. • Está integrada por una o más redes de datos.
Capa intermedia	<ul style="list-style-type: none"> • En esta capa se ubican los componentes de software. • Debe presentar una visión uniforme a la capa de aplicación de todos los elementos de la capa física utilizando más de una tecnología. • Encapsula la complejidad de los distintos dispositivos y añade información contextual para incluir entidades y relaciones que no aparecen en la capa física.
Capa de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Está compuesta por módulos, procesos y agentes que utilizan la funcionalidad ofrecida por la capa intermedia para proporcionar servicios específicos. • Se encuentra estrechamente relacionada con la interfaz del usuario.

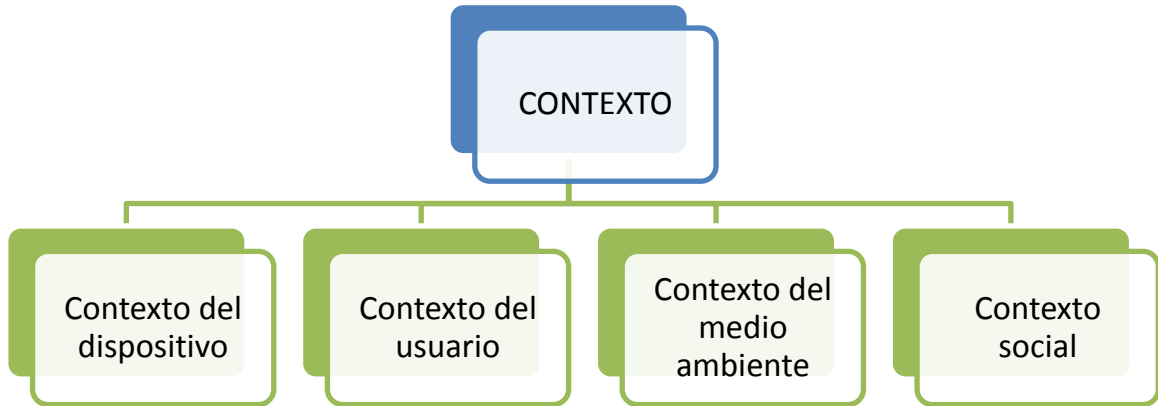
4.6.2 Predicción de eventos.

La capacidad de predecir un comportamiento de un dispositivo en base a su perfil y la corta historia de los datos generados, se podría mejorar la planificación y ajustar nuestros servicios comerciales. Si los modelos de predicción se empelan correctamente, pueden habilitar sistemas autónomos de toma de decisión basada en la naturaleza dinámica de los acontecimientos. Las metodologías de explotación de datos y procesamiento de eventos complejos en este tipo de sistemas son vistos como componentes clave para la toma de decisiones en un entorno orientado a eventos [63].

4.6.3 Clases de contextos.

Según [58] se clasifica el contexto en cuatro importantes clases, como se muestran en la figura No.24:

Figura 24. Clasificación del contexto.



Fuente: LEE, J. Y.; KIM, M. K.; LA, H. J.; KIM, S. D. A Software Framework for Enabling Smart Services. 12th IEEE International Conference Computer Advanced Information Management. Soongsil University. Seoul, Korea. Diciembre, 2012. p. 1-8 [58].

- *Contexto del dispositivo:* Describe el estado del dispositivo móvil que incluye procesadores disponibles, dispositivos accesibles a entrada de usuario y displays, capacidad de red, conectividad, costos de computación y comunicación. Esta información se adquiere por medio de sensores o componentes de software en el funcionamiento del dispositivo.
- *Contexto del usuario:* Hace referencia a información dinámica o estática relacionada con el usuario. La información dinámica cambia con frecuencia por lo que es necesario la supervisión periódica para mantener actualizada la situación del consumidor, tal es el caso de la ubicación e interacciones con otras personas. Por otro lado, la información estática del usuario es raramente modificada en el caso de la información personal, hábitos y preferencias.
- *Contexto del medio ambiente:* Corresponde a la información del entorno útil para el usuario, por ejemplo, el nivel de iluminación y temperatura.

- *Contexto social:* Es la información externa que se capta por servicios externos. Con la implementación de fuentes de información personal del usuario como las redes sociales se puede obtener intereses, actividades y preferencias así mismo la información que comparte o recibe de otras personas, quienes son sus amigos o personas cercanas, etc.

4.6.4 Características y atributos de los servicios sensibles al contexto.

Existen tres aspectos importantes en la inteligencia de los servicios para que puedan satisfacer las necesidades de los usuarios [58]:

- **Productividad:** Proporcionar un mayor nivel de productividad en la ejecución de las actividades de la vida diaria, como por ejemplo, ejecución en el menor tiempo posible, automatización y eficiencia en dichas actividades.
- **Calidad:** Ofrecer una alta calidad en la prestación de los servicios en cuanto a inteligencia y seguridad.
- **Comunicación:** Permitir una comunicación eficaz entre las personas y los dispositivos por medio del internet de las cosas (IOT), ya que al mejorar este aspecto incrementa la eficacia en la realización de las actividades de la vida diaria.

Las características anteriores se componen de ciertos atributos de calidad (ver figura No.25) que pueden diferenciar servicios inteligentes de los servicios típicos, luego para ser inteligentes deben cumplir con algunos de ellos.

Figura 25. Características y atributos de calidad de los servicios inteligentes.



Fuente: LEE, J. Y.; KIM, M. K.; LA, H. J.; KIM, S. D. A Software Framework for Enabling Smart Services. 12th IEEE International Conference Computer Advanced Information Management. Soongsil University. Seoul, Korea. Diciembre, 2012. p. 1-8 [58].

Los atributos de calidad son [58]:

- 1. Automático:** Una actividad se define como un flujo de trabajo para el cumplimiento de un número de tareas. Algunas tareas sólo pueden ser realizadas por los seres humanos, pero en otras podrían ser reemplazados mediante algunos dispositivos con esquemas de software que permitan la implementación de servicios inteligentes. Por ejemplo, al activarse las luminarias automáticamente mediante la detección de la intensidad de iluminación evitara que el usuario realice esta tarea manualmente.
- 2. Autónomo:** Este atributo consiste en aplicar el principio de auto-diagnostico, auto-accionamiento y aprendizaje. Si se controla una actividad

de la vida diaria, diagnóstica, y acciona de manera autónoma, se reduce la cantidad de intervención de los usuarios y el procesamiento de toma de decisiones. Por otra parte, un servicio con funciones autónomas sería dinámicamente adaptable al entorno en evolución y contextos de servicios. Por ejemplo, un servicio asistencial de salud puede vigilar los patrones cotidianos de los usuarios, diagnosticar situaciones comprometedoras de su salud e incluso recomendar menús para dietas específicas en cada situación.

3. **Asistencial:** El objetivo de esta característica es proporcionar algún tipo de asistencia en la ejecución de actividades de la vida diaria. Conjunto con los atributos de autónomo y automático, se pretende que sea capaz de asistir intrínsecamente por medio de consejos útiles, putas y recordatorios entre otros. Si un usuario se encuentra cerca de la puerta de entrada en el trabajo, puede haber un juego de mensaje de audio de los horarios específicos del usuario, recordatorios y cosas por llevar.
4. **Conveniente:** Corresponde a la retroalimentación de los usuarios sobre la calidad de los servicios inteligentes proporcionados. Los usuarios deben experimentar la facilidad de mejora, practicidad, eficacia y atracción sobre los servicios inteligentes.
5. **Inteligente:** Consiste en proporcionar a los usuarios una experiencia similar a la humana de diagnóstico y decisión sobre los servicios en la vida diaria. Al no ser posible simular la capacidad de pensamiento del ser humano por las máquinas, los servicios pueden aumentar cierto grado de inteligencia sobre la ejecución de tareas diarias de los usuarios.

6. **Seguro:** Se debe garantizar la capacidad de proteger a los usuarios y su entorno de cualquier tipo de amenazas suministrando una experiencia segura y protegida.
7. **Personalizado:** La característica de ser personalizado es proveer a los usuarios servicios sensibles al contexto que tiene la función de analizar los contextos de los usuarios para inferir la situación actual y adaptar los servicios para la situación dada. Con estos servicios adaptados a la medida de los contextos de los usuarios, ellos tendrán la ilusión de ser atendidos personalmente y quedar altamente satisfechos.
8. **Comunicativo con el usuario:** La comunicación es un requisito indispensable para la comprensión de circunstancias y tomar decisiones basadas en el conocimiento. Este atributo de ser comunicativo con el usuario suministra un medio eficaz para la ejecución de los servicios, dicha eficacia se puede realizar con varios esquemas diferentes, por ejemplo, utilizando comunicación útil para conferencias de audio y video con conexión a internet, monitoreo de personas para un propósito específico, entre otros.
9. **Supervisar los elementos:** Con la proliferación del concepto y dispositivos del internet de las cosas (IOT) se hace más factible diseñar un servicio relacionado con elementos como mascotas y plantas en el hogar permitiendo a los usuarios comprender los contextos de dicho elementos.
10. **Controlar los elementos:** Con relación al atributo de supervisión de los elementos, esta característica proporciona a los usuarios una capacidad de regular y gobernar los elementos. Al tener la capacidad de seguimiento y control, las actividades de la vida diaria de los usuarios se pueden realizar de forma remota.

4.7 Software y plataformas para la implementación de servicios en la red inteligente residencial.

El papel del proveedor de servicios es proporcionar a los usuarios los servicios que suscriben y su despliegue es realizado remotamente por medio de una pasarela que se convierte en una plataforma de servicios.

4.7.1 Plataforma OSGi (Open Services Gateway initiative).

La arquitectura OSGi se basa principalmente en el uso de los servicios a los cuales se puede acceder directamente, realizar búsquedas, entre otros, con el fin de lograr los numerosos comportamientos dinámicos ofrecidos por la plataforma. OSGi Alliance desarrolló la plataforma de servicios OSGi con especificaciones para crear un servicio de entrega estándar y entorno de ejecución que permite a cualquier fabricante, proveedor de servicios u operador implementar una plataforma de servicios flexibles para cualquier dispositivo y además permite a cualquier desarrollador llevar a cabo aplicaciones orientadas a servicios. La plataforma de servicios OSGi tiene como objetivo reducir costos en la conexión de dispositivos y permite ejecutar el mismo servicio sin problema en el hogar, el coche o el teléfono móvil. OSGi tiene tres ventajas: 1) Independencia, que define número de conjuntos de API's que trabajan en plataforma heterogénea. 2) Multiple, que se basa en siete capas OSI. 3) Co-existencia, puede coexistir con múltiples medios de comunicación [59].

4.7.2 SOA (Service oriented architecture).

SOA ha sido una palabra de moda desde hace varios años, y el concepto fundamental detrás de ella ha sido adoptado muy rápidamente, hasta hace poco, especialmente con los Servicios Web. La tecnología de servicios Web promueve la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones de software que se ejecutan en plataformas distintas empleando estándares y protocolos abiertos. Además,

también soporta la reutilización de servicios y componentes que aumenta aún más la velocidad de creación de servicios.

SOA ha demostrado ser adecuado para hacer frente a los problemas de interoperabilidad mediante la separación de la lógica de aplicación y la interfaz de un servicio, y además se prevé que tenga un impacto significativo cuando se aplica a los servicios de salud electrónica en el contexto del hogar inteligente [64].

4.8 Algunos ejemplos de servicios sensibles al contexto.

En los últimos años la tecnología ha permitido el desarrollo de servicios con sensibilidad al contexto facilitando las actividades diarias de los usuarios y su calidad de vida, confort, entretenimiento, etc. Como es de esperarse existen múltiples servicios de acuerdo a las necesidades y preferencias de los usuarios, a continuación se describen algunos.

4.8.1 Calendario orientado a servicios en el hogar inteligente.

El servicio en el hogar inteligente debe proporcionar a los habitantes la posibilidad de vivir más cómodo. Los servicios de un miembro del hogar generalmente se pueden resumir en entretenimiento y confort, es decir, TV, radio, vídeo, audio, teléfono, Web, alarma y automatización. El concepto de este servicio se implementa fundamentalmente en el entorno inteligente que rodea al usuario y no en la interacción tradicional. Es decir, éste servicio apoya las actividades de los miembros del hogar tanto adentro como afuera de la casa. Por ejemplo, alguien comenzará un nuevo día de trabajo y olvidó algún objeto como el bolso, la cámara de vigilancia inteligente puede enviar un mensaje de voz o visual con el fin de recordarle lo que olvido. Entonces el servicio dependerá de un horario de cada miembro de la casa que brinde apoyo automático, integrado y continuo. El calendario busca entender todas las actividades basado en información actualizada independientemente si los usuarios están o no en el hogar. La figura No.26 corresponde a la arquitectura de este servicio [59].

Figura 26. Arquitectura del servicio de calendario sensible al contexto.



Fuente: YUAN, C. J.; YOU, S. D.; TSAI, D. R. A Calendar Oriented Service for Smart Home. Department of Computer Science and Information Engineering, National Taipei University of Technology & Department of Geology, Chinese Culture University. Taipei, Taiwan, 2010. p. 151-156 [59].

Se utiliza el lenguaje BPEL para modelar el servicio de calendario con relación al componente ontológico. El primer paso es extraer el horario de actividades de cada miembro de la casa y transferir la información en nodos de BPEL. Finalmente, el programa más actualizado se fusionará con el actual. En tiempo de ejecución, la información en BPEL se traducirá al contexto humano y se obtendrá una nueva información con la que se implementará cualquier servicio del calendario [59].

4.8.2 Servicios de notificación.

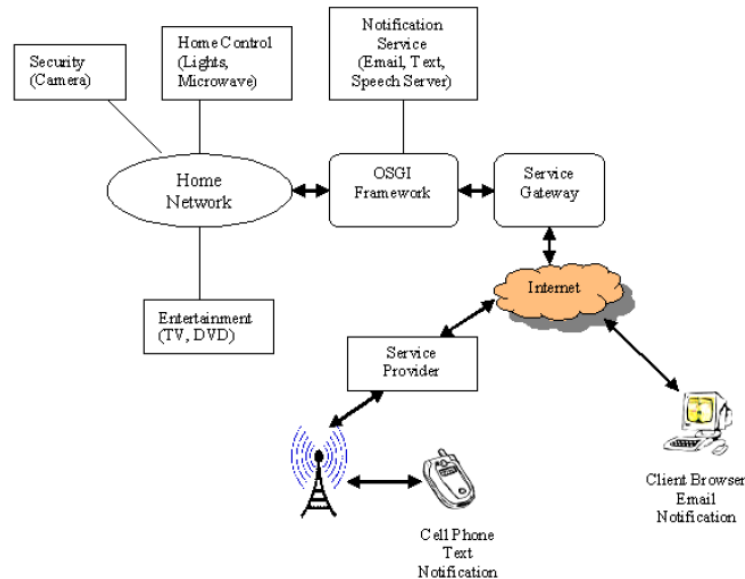
Proporcionar notificaciones de manera oportuna constituye un servicio esencial que debe ofrecer el entorno del hogar inteligente a los usuarios. Para personas de avanzada edad es indispensable la comunicación de los datos a su médico, proveedor de atención médica o familiar por medio de correo electrónico, llamada telefónica o mensaje de textos. El servicio de notificación tiene influencia de

factores contextuales, es decir, decide el mejor momento y la forma de presentación de los mensajes en función del estado de los usuarios y su entorno, junto con la estimación del contenido del mensaje.

Un sistema de notificación puede utilizar una arquitectura orientada a servicios (en inglés SOA) quien creará servicios independientes para las diferentes necesidades de notificación e interconectar estos servicios con otros más avanzados. Este servicio debe ser personalizado para el usuario que vive en el hogar inteligente, además, datos como el correo electrónico, número telefónico y dirección no necesitan ser introducidos o consultados cada vez que se requiera el servicio.

La arquitectura está compuesta por diferentes tipos de sensores como *phidgets*, *telos motes*, *Insteon*, *X10* y otro tipo de sensores inteligentes. Las aplicaciones pueden subdividirse componentes de control, seguridad, salud y entretenimiento como se observa en la figura No.27 donde se desarrollan en la plataforma OSGi [65].

Figura 27. Diseño básico de la arquitectura de servicio de notificación.

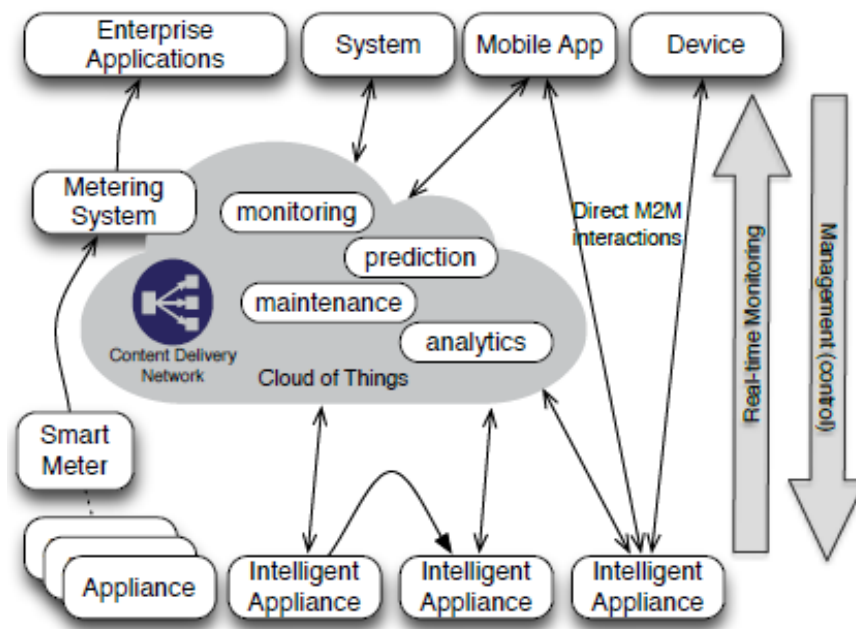


Fuente: INGA, E. Redes de comunicación en Smart Grid. INGENIUS. Mayo, 2012, no. 7., p. 36-55 [5].

4.9 Servicios de la “nube”.

Hoy en día los electrodomésticos están equipados con sistemas integrados en red que proporcionan comunicación (en su mayoría) de forma inalámbrica a través de los protocolos ZigBee, Bluetooth, e incluso Wi-Fi y su interacción es por medio de protocolos de propiedad o interfaces de programación de aplicaciones (en inglés API's) no estandarizados. Algunos de los electrodomésticos son capaces de acoger servicios Web y hacerlos parte de su funcionalidad como por ejemplo, los servicios “*cloudhosted*” ó de nube-alojada que permiten comunicarse con cualquier servicio de internet por medio de banda ancha, llevando a la desvinculación de pasarelas para la interconexión entre los dispositivos e incluso internet [33]. En la figura No.28 se muestra la infraestructura de los servicios basados en la nube.

Figura 28. Infraestructura de los servicios de la nube.



Fuente: Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente residencial [34].

De esta forma en el futuro los electrodomésticos pueden equiparse con soluciones rentables para monitorizar el consumo de energía de los mismos y comunicar los resultados a los proveedores. En el caso de comunicar la información relevante del aparato, como datos sobre el uso, ciclos de trabajo, datos actuales de piezas, etc., puede habilitar servicios de mantenimiento predictivo que ejecuta en el dispositivo, en la nube o en ambos. El principal beneficio de la utilización de la nube es disponer en su totalidad de las capacidades adicionales en dispositivos de limitación de recursos por medio de características como la virtualización, escalabilidad, rendimiento, gestión de ciclo de vida, etc. Por ejemplo, el fabricante podrá utilizar estos servicios en la nube con el propósito de supervisar el estado de los equipos, realizar actualizaciones de software, detectar posibles fallos y notificar al usuario, programas mantenimiento, tener una visión del manejo del aparato y mejorar su producto entre otros.

Otras ventajas de los servicios en la nube son:

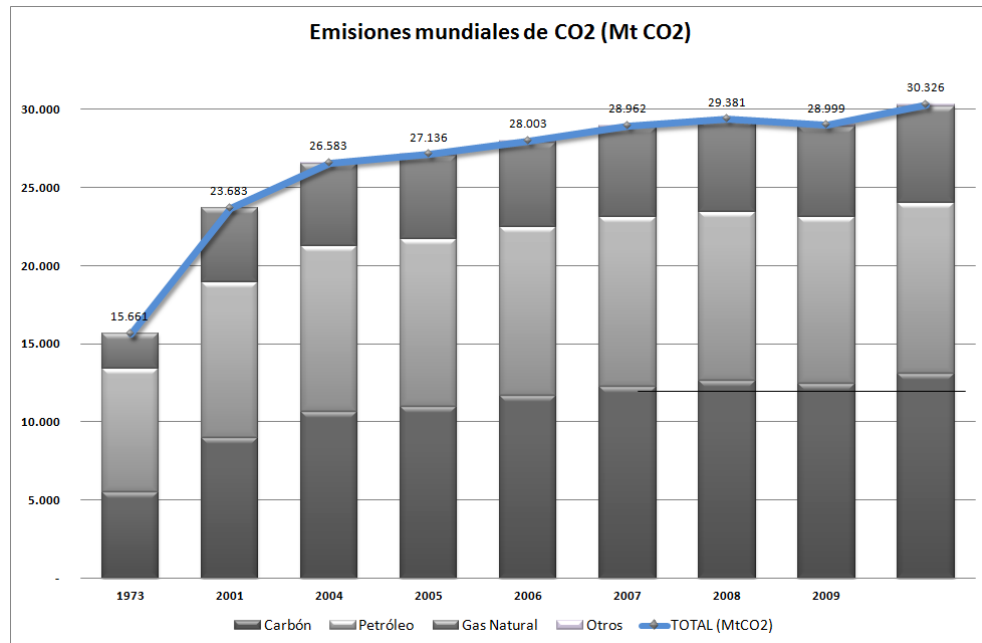
- Reducción al mínimo de la transmisión de datos a un número limitado de puntos de red.
- Contiene una red de entrega de contenidos (CDN) con el fin de obtener datos generados en lugares lejanos a la infraestructura.
- Permite el acceso a datos históricos completos y su procesamiento.
- No proporciona acceso a los sistemas internos por razones de seguridad.

En general, se predice que con la existencia de la nube surgirán nuevos servicios como monitoreo de consumo de energía en tiempo real, facturación, servicios de información personalizada, etc.

5. VIABILIDAD DE LA LINEA DE NEGOCIOS DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES.

La inminente implementación de las redes inteligentes alrededor del mundo está ligada al abrupto incremento de la emisión de gases de efecto invernadero en los últimos años como se muestra en la figura No.29, si bien es cierto Colombia como país en desarrollo ha tenido una responsabilidad mínima en esta problemática, pero su política energética está dirigida hacia la satisfacción de las necesidades de la población y agentes económicos usando recursos disponibles con sostenibilidad ambiental. A partir de ello se buscan soluciones diferentes al incremento en la generación convencional, como por ejemplo, la hidráulica en el caso Colombiano. Las redes eléctricas inteligentes como se mencionó anteriormente permiten el desarrollo de generación distribuida que proporciona a los usuarios la posibilidad de la auto-alimentación energética mientras las condiciones se lo permitan, de lo contrario, tienen la posibilidad de conectarse a la red nuevamente, de tal forma se reduce el impacto ambiental debido a la generación de energía por medio de recursos renovables (solar, eólica, biomasa, etc.). Sin embargo, esta no es la única solución si se tiene en cuenta que al considerar al consumidor como agente activo de la red puede controlar su consumo energético mediante los servicios sensibles al contexto para el control de cargas ó servicios de ahorro energético que puedan ofrecerle empresas ajenas a su proveedor de energía a partir de información captada por la infraestructura de medición avanzada (AMI) con la autorización previa del propio usuario como sucede en la iniciativa del botón verde (GREEN BUTTON).

Figura 29. Emisión de gases de efecto invernadero.



Fuente: <http://www.minas.upm.es/investigacion/co2/cambioClimatico.EWorld.htm>.

Es relevante aclarar que el análisis de la viabilidad en la implementación de los servicios contextuales se realiza con el supuesto de disponer de una infraestructura de red eléctrica inteligente ya instalada, es decir, que algunos componentes como medición inteligente, comunicación bidireccional, entre otras, se encuentren en funcionamiento con la finalidad de concentrarse en cómo llevar a cabo los servicios contextuales.

Actualmente las empresas están pensando en cómo abordar los nuevos retos que plantea la llegada de un ecosistema de energía “inteligente”, ya que tendrán que realizar grandes cambios e inversiones a sus actuales procesos de negocio y tecnologías. En este capítulo se realiza el análisis de la viabilidad de los servicios contextuales teniendo en cuenta la motivación en la implementación de dichos servicios por medio de la revisión de algunas empresas con reconocimiento mundial que han desarrollado una línea de negocio a partir de las ventajas que proporciona la Smart Grid. Por lo tanto, se puede inferir ciertos beneficios hacia los

consumidores, empresas de servicios públicos entre ellas los mismos operadores de red y en general otras compañías como fabricantes, mantenimiento, auditoras energéticas, etc.

A pesar de los beneficios, existen diferentes barreras que pueden llegar a dificultar su implementación. Se pretende analizarlas con anterioridad y llevar a cabo medidas necesarias para mitigarlas. Estas barreras concentran fundamentalmente en el contexto colombiano componentes técnicos, económicos, políticos, regulatorios y culturales.

5.1 Motivación hacia la implementación de los servicios contextuales.

Existen aspectos a nivel mundial que impulsaron la implementación de las redes inteligentes, sin embargo, éstos pueden diferir dependiendo de las expectativas, necesidades, desarrollo energético y condiciones de contaminación de cada país [66]. La tabla No.13 presenta los factores motivadores de las redes inteligentes.

Tabla 13. Factores motivadores de las red inteligente en el mundo.

EE.UU.		EUROPA		BRASIL/LATAM	
ECONÓMICAS	<ul style="list-style-type: none"> Estímulos Creación de empleo Emprendimiento tecnológico 	ENERGÍA LIMPIA	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia Energías renovables y generación distribuida Vehículos eléctricos 	OPERATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar medidores viejos Pérdidas no técnicas Reducir costos de lectura
OPERATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> Reducir OPEX Mejorar gestión de activos 	LIBERALIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Desregulación Competencia Innovación en el servicio 	SEGURIDAD ENERGÉTICA	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética
CONFIABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar SAIDI/SAIFI Manejar tormentas 	MERCADOS INTEGRACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Mercado eléctrico europeo Super-red europea 	LIBERALIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Tarifas dinámicas
SEGURIDAD ENERGÉTICA	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética Gestión de picos de demanda Integración de ER y VE 	OPERATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> Reducir OPEX Mejorar Gestión de activos 	ENERGÍA LIMPIA	<ul style="list-style-type: none"> Energías renovables

Fuente: COLOMBIA INTELIGENTE, Avances de las Redes Inteligentes. 3rd Seminario de Eficiencia Energética en Servicios Públicos. Bogotá, Colombia. Febrero, 2013 [67].

Entorno a estas necesidades el concepto de red inteligente busca resolverlas. Sin embargo, en ese camino da la posibilidad de implementar servicios que ofrezcan a los consumidores una mejor calidad de vida, brindando la posibilidad de crear líneas de negocio por parte de las diferentes empresas (de servicios públicos y terceras).

Por esta razón hoy existen empresas reconocidas a nivel mundial que están incursionando en el mercado de los servicios basados en la Smart Grid, tal es el caso de empresas proveedoras de software como VENTYX filial de ABB⁹, IBM, entre otras y las más de 150 empresas que implementaron la iniciativa de botón verde en Estados Unidos y Canadá entre las que se destacan SDG&E (San Diego Gas and Electric), SCE (Southern California Edison) y PG&E (Pacific Gas and Electric) como se nombró en el capítulo anterior.

Estudiando el caso de la empresa VENTYX, la cual ofrece soluciones que cubren los aspectos operativos necesarios para desarrollar la Smart Grid, incluido el respaldo para todas las operaciones minoristas y comerciales necesarias para ofrecer programas de respuesta efectiva de la demanda, gestión de energía distribuida, generación renovable, SCADA/GMS/EMS/DMS, gestión de activos y trabajo, análisis comerciales y optimización de recursos [68].

Los dos servicios más destacados de VENTYX hacia empresas proveedoras de servicios públicos son [69]:

- *Facturación y sistemas de información de clientes (CIS).*

Tiene como objetivo lograr la excelencia operativa, maximizar la satisfacción del consumidor y cumplir con los requisitos críticos desde la medición hasta el cobro por medio de la optimización de procesos. Este servicio de gestión de clientes permite la ejecución de estrategias comerciales a las empresas de servicios públicos. El CIS de VENTYX ofrece flexibilidad y funcionalidad para gestionar

⁹ Corporación multinacional con sede principal en Zurich, Suiza y cuyos negocios se basan en tecnologías en generación de energía eléctrica y automatización industrial.

todos sus procesos de respaldo de clientes y facturación en servicios de desechos sólidos, agua, electricidad, gas y aguas residuales, desde consultas hasta iniciativas de comercialización, procesos de recolección y crédito basados en regulaciones. Entre sus clientes destacados se encuentra el departamento de servicios públicos de la ciudad de Charlotte-Mecklenburg¹⁰ (CMUD).

- *Soluciones de gestión de recursos distribuidos y respuesta a la demanda (DR).*

Respalda las operaciones de los servicios públicos minoristas y comerciales que son exigidas para entregar programas efectivos de respuesta a la demanda, gestión de energía distribuida y optimización de recursos para implementaciones exitosas de redes inteligentes. Estos programas proveen datos y precios en tiempo real a productores y consumidores, y les brinda a los clientes la capacidad de elegir de manera más informada sobre cómo y cuándo utilizar la energía al proporcionarles incentivos para controlar las cargas eléctricas en la red. De igual forma permite a empresas de generación y distribución optimizar los recursos de energía distribuida con el propósito de gestionar de una forma eficaz los periodos de máxima demanda, minimizar el impacto de cortes y disminuir las inversiones en activos adicionales de distribución, transmisión y generación.

Por otra parte, en la constante evolución informática, diariamente surgen nuevas posibilidades y a su vez amenazas (virus, secuestro y robo de datos, etc.). Por este motivo al implementar los diferentes componentes de la red eléctrica inteligente que involucran gran cantidad de datos e información, como por ejemplo, la infraestructura de medición avanzada (AMI), es necesario plantear aspectos relacionados con la seguridad informática que deben tener estos paquetes de datos, para evitar infringir la integridad de la información [30]. Por tal razón uno de los servicios más destacados que ofrece IBM en el campo de la seguridad cibernética consiste en evaluar la red de ordenadores en busca de

¹⁰ Charlotte ciudad ubicada en el condado de Mecklenburg, en el estado de Carolina del Norte de los Estados Unidos.

anomalías utilizando equipos gestionados de forma remota, así en caso de que un servidor falle, otro puede asumir el control, el almacenamiento de datos manteniendo el sistema seguro. Además proporciona una vista consolidada de seguridad a través de un portal de gestión basada en Web [70].

De igual manera el portafolio de servicios en el caso de PG&E (Pacific Gas and Energy), una de las empresas pioneras en la iniciativa del botón verde en respuesta al desafío lanzado por la Casa Blanca en el otoño del año 2011 al cual se hizo referencia anteriormente, ofrece beneficios a los clientes de descargar sus datos de consumo de energía a través del “Green Button Download My Data” y también la posibilidad de autorizar el traspaso de los datos a desarrolladores y proveedores terceros por medio del “Green Button Connect My Data” [71]. A continuación en la tabla No.14 se presenta una lista de aplicaciones desarrolladas por los proveedores terceros autorizados por PG&E.

Tabla 14. Aplicaciones de proveedores autorizados de PG&E.

Proveedor	Aplicación	Destinatario	Descripción
PEV4me ¹¹	PEV Calculator	Propietarios actuales y potenciales de vehículos eléctricos (PEV)	<ul style="list-style-type: none"> • Permite a los propietarios de PEVs estimar la factura de energía eléctrica cuando se añade un cargador de PEVs para suministrar energía a la casa. • Compara múltiples planes tarifarios de la compañía local de servicios públicos para determinar el plan más rentable. • Calcula el ahorro anual de costos de entre el PEV y un vehículo de combustión interna ó de gas.
Home Energy Analytics (HEA) ¹²	UnPlug Stuff	Consumidor residencial de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Indica la cantidad de energía que se desperdicia en el hogar cuando se dejan los artefactos domésticos enchufados. • Solo con introducir el ID del medidor inteligente y una contraseña, se desactiva la carga donde se presenta el desperdicio de electricidad.
Leafully ¹³	Leafully		<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de consumo de energía. • Alerta cuando sucede algo anormal en el consumo. • Ilustra la huella de carbono del usuario para generar conciencia de ahorro energético.
Papros Inc. ¹⁴	MRPRO		<ul style="list-style-type: none"> • Software líder en monitoreo de datos para contribuir en la reducción, automatización y comprensión del consumo de energía del usuario permitiendo reducir costos en la factura. • Cuenta con un inventario basado en nivel de desagregación de aparatos (IBALD) que muestra la ubicación y la posible combinación de artefactos domésticos con el fin de ejecutar la desagregación para reducir el consumo.

¹¹ Ver más en: <http://www.pev4me.com/about-us/>

¹² Ver más en: <http://corp.hea.com/>

¹³ Ver más en: <https://leafully.com/>

¹⁴ Ver más en: <http://www.papros.com/ad1b.htm>

Al describir este tipo de iniciativas por parte de las empresas con reconocimiento mundial se pretende motivar a la industria colombiana a visualizar en los servicios contextuales una oportunidad de negocio que revolucionará la forma de satisfacer las necesidades energéticas del usuario con eficiencia.

5.2 Evaluación de los beneficios de los servicios contextuales.

En el análisis de la viabilidad de una línea de negocio es importante evaluar los beneficios de los agentes involucrados, es decir, los que obtienen los consumidores, las empresas de servicios públicos y terceros.

5.2.1 Beneficios del consumidor

A partir de los servicios implementados por las compañías descritas anteriormente, los consumidores son los más beneficiados ya que pueden obtener una gran variedad de servicios por parte de empresas proveedoras de servicios públicos y terceras. Algunos beneficios son:

- Constante información sobre el consumo de servicios públicos (agua, gas y electricidad) en tiempo real.
- Procesos de facturación mejorados a partir de la gestión del consumo energético.
- Registrar el ahorro económico al incluir el vehículo eléctrico (PEV) como solución a las necesidades de energía eléctrica en la casa.
- Facilidad para obtener gran diversidad de servicios por medio de la información que suministra a terceros.

5.2.2 Beneficios de la empresa de servicios públicos

Las empresas proveedoras de servicios públicos como agua, gas, electricidad y residuos sólidos buscan ofrecer la mayor cantidad de servicios complementarios a los usuarios. Sin embargo, estas empresas también cuentan con la posibilidad de recibir servicios y asesorías por parte de otras como por ejemplo VENTYX e IBM

con el fin de implementar servicios de calidad para lograr la satisfacción del cliente.

En la tabla No.15 se describen algunos de los beneficios que reciben los proveedores de servicios públicos por parte de VENTYX según el tipo de servicio que deseen ofrecer.

Tabla 15. Beneficios de proveedores de servicios públicos por parte del portafolio de servicios de VENTYX.

Servicio	Beneficios de los proveedores de S.P
Facturación y sistemas de información de clientes (CIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con los requisitos regulatorios para la prestación de servicios públicos y complementarios. • Procesar de manera eficaz y eficiente las llamadas de servicio al cliente. • Gestión del flujo de trabajo ó aspectos operacionales de las actividades de trabajo de los procesos comerciales.
Gestión de recursos distribuidos y respuesta a la demanda (DR).	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la optimización, control y monitoreo de la distribución eléctrica. • Minimizar la frecuencia, duración e impacto de los cortes del suministro de energía. • Disminución de las inversiones en nuevos activos de generación y distribución eléctrica. • Aumentar la confiabilidad del sistema eléctrico y cumplir con los incrementos de carga futuros. • Mejorar el uso de energía renovable mediante programas de redes inteligentes que incentiven al consumidor en tomar decisiones ambientales responsables.
Sistemas de gestión de distribución (DMS)	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de demanda y pérdidas en el sistema sin afectar la carga del cliente. • Posibilidad de ahorro de tiempo en el manejo de gran cantidad de datos. • Acceso de datos operativos en línea para mejorar el respaldo de decisiones y uso de recursos.
Seguridad cibernética	<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra ataques cibernéticos. • Evitar la interrupción del flujo de negocios, productividad y rentabilidad. • Facilidad para el cumplimiento de los requisitos de seguridad.

Fuente: Soluciones para los Servicio Públicos Integrados Verticalmente [En línea]. Ventyx Company-[citado el 29 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ventyx.com/es/solutions/utilities/vertically-integrated-utilities> [69].

5.2.3 Beneficios de terceros.

Parte de la iniciativa del botón verde es brindar la posibilidad a terceras empresas, es decir, aquellas que no son operadores de red y que no proveen ningún servicio público a desarrollar servicios para los consumidores. En las plataformas Web de las empresas proveedoras de energía eléctrica que han adoptado esta iniciativa se puede visualizar una sección que corresponde al “Green Button Connect My Data” descrito en el capítulo anterior, el cual los usuarios pueden autorizar a su proveedor de energía para que provea la información de uso energético (EUI) a terceros con el fin de solicitar servicios de gestión energética, información sobre la integración del vehículo eléctrico, mantenimiento de artefactos de uso doméstico, integración de fuentes de energía renovables, etc. Por lo tanto, esas terceras empresas tendrán la posibilidad de ampliar su portafolio de servicios según las necesidades y preferencias (ahorro económico, entretenimiento, confort, información permanente, etc.) de los usuarios.

5.3 Barreras para la implementación de los servicios contextuales.

Pese a los beneficios que brindan los servicios contextuales a la industria y a los consumidores en los aspectos mencionados anteriormente como el crecimiento económico, supervisión de consumo energético, reducción de costo de factura, entretenimiento, facilidad en el desarrollo de las actividades diarias, entre otros. Surgen barreras que limitan la implementación de la Smart Grid y por ende el desarrollo de estos servicios.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) encontró que las principales brechas que se identificaron se relacionan principalmente con las estructuras físicas de los sistemas eléctricos al tener que modificarse, lo que desborda en la necesidad de la asociación de los sectores públicos y privados, y de los grupos de defensa de los consumidores para definir las principales exigencias que se requieren cubrir[3].

Es importante por medio de las asociaciones de trabajo analizar estas brechas (técnica, económica, política y regulación, social y cultural) con el fin de mitigarlas.

5.3.1 Barreras técnicas.

Esta barrera que limita la implementación de servicios contextuales se asocia con la barrera técnica de la red convencional actual, la cual debe ser sometida a cambios técnicos. Algunas de las limitaciones de este aspecto son [72]:

- La red eléctrica está diseñada de manera centralizada, es decir, la transmisión de energía eléctrica se realiza de las centrales a los consumidores, obviando así posibilidades para que los usuarios puedan generar energía para uso propio.
- No existe infraestructura de comunicación bidireccional.
- Hay ausencia de infraestructura de medición avanzada, que permita la transmisión de datos entre el operador de red y el consumidor.
- No existe automatización de la gestión de energía.

5.3.2 Barreras económicas.

El crecimiento económico va ligado a la implementación de nuevos servicios que ayuden al desarrollo económico de la región, sin embargo, se requiere una inyección de capital para el despliegue de medición inteligente, infraestructura de comunicación, sensores, etc., que puede poner en riesgo financiero a las entidades.

Una de las formas de romper esta brecha por parte de los gobiernos es poner en funcionamiento políticas que incentiven y proporcionen financiamiento a los diferentes proyectos pilotos e iniciativas que lleven a cabo las empresas de energía eléctrica.

5.3.3 Barreras políticas y regulatorias.

La carencia de estandarización y políticas limita el desarrollo de los servicios de valor agregado de las redes inteligentes. Los gobiernos de los países impulsores de proyectos de redes inteligentes son decisivos en las políticas para promover este desarrollo. En la tabla No.16 se describen algunos ejemplos de políticas que han implementado algunos países entorno a la red inteligente.

Tabla 16. Algunas políticas implementadas entorno a la red eléctrica inteligente.

País	Políticas
España	Decreto 1110/2007: Exige a sustituir todos los medidores electromagnéticos por inteligentes antes del 31 de diciembre.
Francia	El decreto de medidores inteligentes de septiembre de 2010 obliga la instalación del 95% de medidores inteligentes para el año 2016.
Alemania	En el año 2010 expidió una ley que requiere la instalación de medidores inteligentes en nuevas construcciones o por solicitudes de los usuarios.
Reino Unido	Solicita la implementación de medidores inteligentes de gas y electricidad entre 2012 y 2020.
Finlandia	Promueve el completo despliegue de medidores inteligentes antes del año 2014.

Fuente: MEYERS, K.; KIM, J.; WARD, G.; STATHAM, B.; FREI, C. Smart Grids: Best practice fundamentals for a modern energy system – Annexes. World Energy Council. Londres, 2012.

De la misma manera en países donde se ha implementado la iniciativa de botón verde como Estados Unidos y Canadá, su organización y trabajo en conjunto por parte de los entes gubernamentales y privados ha llevado a la creación asociaciones de estándares y normas (NAESB ESPI, OpenADE, OpenSG, OpenESPI, PAP 10, y PAP 20) que dieron vía libre al desarrollo e implementación de servicios por parte de todo tipo de empresas (Energía, software, terceras, etc.).

La ausencia de normatividad especialmente en países de Latinoamérica en parte es consecuencia de las limitaciones en la interoperabilidad entre los diferentes estamentos gubernamentales (ministerio de transporte, de salud, de educación, de energía, etc.) y grupos políticos.

5.3.4 Barreras sociales y culturales

Se debe generar la concienciación de los usuarios hacia la utilización eficiente de la energía eléctrica, o de lo contrario no tiene sentido brindarle servicios complementarios de acompañamiento energético para generar ahorro de consumo en el hogar si el consumidor no responde adecuadamente a las sugerencias. Por ejemplo, un servicio de notificación que indique al consumidor que está desperdiciando energía en determinado artefacto de uso doméstico, pero hace caso omiso, no genera la retroalimentación necesaria para contribuir con la “inteligencia” de la red. Gran parte de la efectividad de las redes inteligentes para solucionar los problemas actuales de ineficiencia energética está en manos de los consumidores como agentes activos de la red.

En general, la propuesta de las empresas a nivel mundial que implementan servicios hacia el usuario es incentivar económicamente si hace un buen uso de los mismos, a parte de las mejoras en confort debido al manejo asistido de las actividades de la vida diaria (ADL) que ofrecen los servicios sensibles al contexto vistos anteriormente.

5.4 Escenarios de los nuevos modelos de negocio.

La amplia variedad de cambios económicos y técnicos que se producirá con la llegada del ecosistema de energía inteligente requerirá procesos empresariales diarios para aumentar su capacidad y flexibilidad para adaptarse.

En la industria eléctrica, la estructura económica, regulatoria y el modelo de negocio son inseparables. La regulación establece los productos, los precios y las condiciones del servicio para corregir las ineficiencias de los modelos. El modelo de negocio representa la estrategia de manejo que permite maximizar los beneficios dentro del marco de regulación y la estructura económica establece el entorno de propiedad de los activos que generan el modelo de negocio, los

incentivos y sus limitaciones [34]. En la figura No.30 se representa la relación entre los tres componentes.

Figura 30. Relación entre Estructura económica-Regulatoria-Modelo de negocio en la industria eléctrica.



Fuente: PENNER, P. F. Smart Power: Climate Change, the Smart Grid and the future of Electric Utilities. 1st Ed. Island Pr. 2010. 327 p. ISBN 978-1597267069 [73].

Con la implementación de la red eléctrica inteligente surgen dudas acerca de la relación costo-modelo de negocio de la empresa “inteligente”. Una vez las políticas regulatorias adopten fijación dinámica de precios¹⁵ de la red inteligente, se generarán grandes impactos sobre la economía del sistema. En [73] se proponen dos modelos de negocio diferentes para las empresas de energía eléctrica. El primer modelo de negocio corresponde al integrador inteligente (Smart Integrator) consiste en una empresa que opera la red inteligente, regulada y que ofrece energía independiente y otros servicios a precios de mercado. El otro modelo de

¹⁵ Fijación dinámica de precios hace referencia a la práctica de cobrar diferentes precios dependiendo de los usuarios y las situaciones individuales.

negocio corresponde a la Empresa de Servicios de Energía (ESU) en el cual deberá existir grandes incentivos para la eficiencia energética en su estructura regulatoria. Algunas diferencias entre estos dos modelos de negocio son descritos en la siguiente tabla.

Tabla 17. Diferencias entre los modelos de integrador inteligente y ESU.

Dominio	Integrador Inteligente	Empresa de Servicio de Energía
Precios Minoristas	Desregulados.	Regulados
Propiedad de la Generación	Ninguna.	Puede ser propietaria de una parte o la mayor parte de las fuentes.
Función de entrega de energía	Opera confiablemente el equilibrio, la entrega y la integración de la red con todas las fuentes de energía.	Opera confiablemente el equilibrio, la entrega y la integración de la red con todas las fuentes de energía.
Fijación de precios	Precios establecidos por el funcionamiento del mercado.	El regulador fija los precios.
Función de información	La plataforma de información provee de las señales de precios y control.	La plataforma de información provee de las señales de precios y control.
Desincentivos a la eficiencia energética	Eliminada por la disociación de ingresos.	La eficiencia se realiza como misión principal y centro de beneficio.

Fuente: PENNER, P. F. Smart Power: Climate Change, the Smart Grid and the future of Electric Utilities. 1st Ed. Island Pr. 2010. 327 p. ISBN 978-1597267069 [73].

5.4.1 Integrador Inteligente (SI)

El integrador inteligente (Smart Integrator) será quien opera la red de potencia, el sistema de información y el sistema de control, garantizando la calidad del servicio. Sin embargo, aunque no es propietaria de la generación debe garantizar y proveer el transporte para los generadores, proporcionando una arquitectura accesible a cualquier fuente de alimentación de cualquier capacidad.

Se considera necesario que provea información según la demanda para la nueva contabilidad, facturación y demás sistemas encargados de considerar a través de estándares de interoperabilidad la fijación dinámica de precios, facturación compleja y opciones de pago.

De igual forma deberá administrar un mercado encargado de determinar los precios horarios para los clientes y tener las consideraciones según la estructura tarifaria que el regulador haya establecido para administrar los precios de la respuesta a la demanda (DR) y la generación distribuida (DG).

Al promover y adaptar el concepto de disociación de ingresos, es decir, hacer que los beneficios de la empresa sean neutros con respecto a las ventas de energía se apoyaría a la eficiencia energética. Parte del crecimiento de los activos del integrador inteligente serán necesarios para proporcionar la confiabilidad, el reemplazo de equipos, realizar inversiones en la red para el mejoramiento de las operaciones. Por lo que el regulador deberá considerar todos los servicios de valor agregado, para garantizar la obtención de beneficios y rentabilidad justos.

Determinar a quién pertenece el cliente es un aspecto importante en este modelo, ya que en la red eléctrica inteligente se considera la integración del cliente con la empresa de suministro eléctrico. Sin embargo terceros proveedores se presentan como intermediarios para la presentación de información con una red más amplia de especialistas en atención al cliente, problemas de hardware y software, etc., causando que los clientes visualizan en sus pantallas la marca del intermediario y terminarán identificando a éste como su proveedor de servicios. Ésta situación repercute sobre la naturaleza fundamental del modelo de negocio del integrador inteligente [34], [73].

5.4.2 Empresa de Servicios de Energía (ESU).

La empresa de servicios de energía ó Energy Services Utility (ESU) tendrá la misión de proveer el servicio al menor costo y cuyos precios y beneficios serán regulados. Además es responsable de cubrir la demanda de energía de los clientes minoristas con alta confiabilidad y con sus propios recursos de generación, sin embargo, estará obligada a transmitir la energía de generadores particulares conectados a su red. Los dos aspectos fundamentales que deberán superar las políticas y la regulación en este modelo de negocio son:

- Al contar con generación propia y considerar a la generación particular como competencia no tendrá motivación en cooperar con la generación local que requiera conectarse a su red inteligente.
- La falta de incentivo en la ayuda a la reducción de la demanda energética de los consumidores.

En resumen, en los dos modelos de negocio (SI y ESU) se requerirá el reconocimiento de la inversión en la red para garantizar su funcionamiento eficiente, con alternativas de libre acceso para la integración de generación distribuida y la promoción de la eficiencia energética. A diferencia del SI, la ESU al contar con generación requerirá sanciones e incentivos para motivar su cooperación con la integración de generación distribuida [34], [73].

6. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS SERVICIOS CONTEXTUALES EN EL ENTORNO REGIONAL.

La mayoría de los países a nivel mundial se están dando cuenta persistentemente de la visión de las redes inteligentes a través de diversos programas pilotos que se están desarrollando con varios objetivos técnicos y económicos. La red inteligente es una red eléctrica que puede integrar de forma inteligente las acciones de todos los usuarios finales que se encuentran conectados al sistema, tanto consumiendo como generando energía eléctrica y aquellos que realizan ambas actividades con el fin de entregar el suministro de energía eléctrica de manera eficiente, sostenible, económica y segura.

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con el monitoreo inteligente, control de comunicación, y la auto-reestructuración a tecnologías como [52]:

- Entregar energía eléctrica con tarifas económicas a través del mejoramiento en las pérdidas de potencia, teniendo el conociendo de cada kWh en tiempo real.
- Energía confiable a través de sistemas robustos con capacidades de auto-reestructuración y la mejora de monitoreo.
- Desconexión de la carga final por la carga pico cambiando a través de una combinación de control directo y precios diferenciales (respuesta de la demanda).
- Energía más sostenible mediante la integración de los recursos verdes y renovables en una escala masiva, lo suficiente como para incrementar la independencia energética.

6.1 Iniciativas de la infraestructura de medición avanzada (AMI) en diferentes ciudades del mundo.

Diferentes tipos de proyectos pilotos se han llevado a cabo a lo largo de varios años en diferentes lugares del mundo como se muestra en la figura No. 31, con el fin de lograr un desarrollo energético más viable, eficiente y seguro. Iniciativas gubernamentales junto con el sector privado y la academia han realizado esfuerzos para promover e implementar sistemas de medición inteligente que permitan una comunicación bidireccional entre el operador de red y el usuario final, logrando que este último supervise el consumo de su energía eléctrica y pueda generar una nueva oportunidad de negocio a través de servicios ofrecidos por otras entidades.

Figura 31. Países en los cuales se ha implementado medición avanzada inteligente.



Fuente: <http://www.sgclearinghouse.org/>.

A continuación una descripción de los principales proyectos a nivel mundial acerca de la infraestructura de medición inteligente [74]:

6.1.1 Holanda.

Se iniciaron proyectos inteligentes en la ciudad de Amsterdam para la instalación de nuevos sistemas de gestión energética con la medición avanzada inteligente para mejorar la sostenibilidad en Amsterdam. Existen 32 proyectos que se ejecutan en 3 áreas de la región metropolitana de Amsterdam. Los socios del proyecto son empresas tales como Nuon¹⁶, IBM, Cisco¹⁷, Accenture¹⁸, Vodafone, etc. Un proyecto piloto consistió en la instalación de 700 contadores inteligentes y dispositivos de visualización en los hogares durante los años 2009 a 2011.

6.1.2 Bélgica.

EnergyICT es un proveedor de soluciones de medición inteligente y red inteligente a los servicios públicos, junto con Eandis, una compañía de electricidad y red de gas en Bélgica, ha desplegado los componentes de la cartera EnergyAxis de Elster¹⁹ de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) y soluciones de éxito para alimentar un gran piloto de medición inteligente integrado en Bélgica.

En los pueblos cercanos Hombeek y Leest, cerca de Malinas, Flandes; Eandis es la creación de 4.200 medidores inteligentes de electricidad y gas, junto con una gestión de datos alojada por EIServer²⁰ y concentradores de datos EnergyICT como parte de la prueba piloto de medición inteligente.

A fin de permitir en tiempo real, la comunicación de dos vías a distancia que implica un sistema MDM central y los medidores inteligentes, los elementos de la solución EnergyAxis AMI basado en tecnología europea PLC están siendo utilizados por Eandis. Los concentradores de datos a una versión hospedada de la EIServer de EnergyICT se utilizarán para llevar a cabo la recopilación de datos.

¹⁶ NUON: empresa de energía de Holanda

¹⁷ CISCO: principalmente dedicada a la fabricación, venta, mantenimiento y consultoría de equipos de telecomunicaciones

¹⁸ Accenture: es una empresa multinacional dedicada a la prestación de servicios de consultoría, servicios tecnológicos y de *outsourcing*.

¹⁹ Elster: Líder mundial en soluciones de medición.

²⁰ EIServer: Empresa de alojamiento de datos en la nube

El Server de EnergyICT es una aplicación de gestión de datos que procesará los datos y proporciona información detallada al consumo a Eandis, que permite la gestión de los recursos energéticos y la red inteligente mejorada.

6.1.3 Turquía.

Cerca de 1,5 millones de medidores inteligentes se han instalado por parte de Elektromed, la empresa de servicios públicos que provee casi 3 millones de clientes de energía eléctrica, agua y gas natural en Turquía. Entre los contadores inteligentes que se instalarán, alrededor de 1 millón son contadores de gas, mientras que el resto son de energía eléctrica.

6.1.4 España.

Endesa, que es propiedad de ENEL²¹, comenzó a instalar contadores inteligentes para todos los 13 millones de TI de los clientes de electricidad desde el 1er trimestre de 2010 hasta el año 2015.

El sistema utilizará el protocolo SITRED PLC para conectar los medidores a 140.000 GPRS²² concentradores equipados. Los medidores serán suministrados por ENEL, y cuentan con una nueva solución de sistema en chip de ST Micro que proporcionará una completa solución inteligente de medición que incluye una comunicación avanzada de la línea eléctrica System-on-Chip (ST758x), que es el corazón del sistema y que corresponde a un potente microcontrolador de 32 bits (STM32) y un innovador dispositivo de suministro de energía, así como dispositivos MOSFET y la memoria EEPROM, como la base del nuevo medidor de potencia electrónico para Endesa.

6.1.5 Alemania.

El Stadtwerk Hassfurt es un proveedor de electricidad y agua a la ciudad de Hassfurt, con más de 13.000 habitantes. La utilidad pública de Hassfurt adjudicó el

²¹ ENEL es la empresa más grande del sector energético de Italia.

²² GPRS: servicio general de paquetes vía radio.

contrato a valor añadido NES socio distribuidor de Echelon EVB Energie AG para proporcionar a la totalidad de sus aproximadamente 10.000 clientes una infraestructura de medición avanzada en los próximos tres años. Alemania propuso recientemente una ley de energía nueva que requiere todas las casas nuevas y remodeladas a estar equipados con contadores inteligentes en 2010 para promover la conservación y la eficiencia energética.

6.1.6 India.

Grinpal²³, el brazo de producción de energía de Saab Grintek²⁴, ha comenzado el despliegue de contadores inteligentes y la infraestructura de medición avanzada en Nueva Delhi, India. Saab Grintek es una empresa de tecnología con sede en Sudáfrica y Suecia.

6.1.7 Pakistán.

KESC que genera y suministra energía eléctrica a Karachi con una población de 17 millones, tiene planes para instalar una red inteligente que se superpone a la red de distribución eléctrica con un sistema de información y medición neta que suministra electricidad a los consumidores y por medio del uso de la tecnología digital con comunicación bidireccional controlar los electrodomésticos en los hogares de los consumidores para ahorrar energía, reducir los costos, y aumentar la fiabilidad y transparencia.

6.1.8 Nueva Zelanda.

La introducción de medidores avanzados ha requerido la actualización de los sistemas de información de clientes de Genesis Power Ltd²⁵. Génesis está actualizando su sistema de facturación y gestión de clientes para proporcionar una plataforma de respaldo flexible para permitir hacer uso de AMI. Una vez lograda la escala económica de la implantación de las mejoras de los sistemas de

²³ Grinpal: Empresa de creación de objetos de comunicación genérico y compatibles.

²⁴ Saab Grintek: Es un grupo líder basado en la tecnología de empoderamiento en Sudáfrica.

²⁵ Genesis Power Ltd: es una empresa estatal de generación de electricidad en Nueva Zelanda.

información (alrededor de 20.000 - 30.000 medidores avanzados en su lugar), Genesis Power buscará ofrecer a los clientes una gama de características, tales como la fijación de precios diferenciados.

6.2 Implementación del Green Button en los Estados Unidos.

La Iniciativa del botón verde es una respuesta dirigida por la industria a una llamada a la acción por parte de la Casa Blanca para proporcionar a los clientes de servicios públicos con un acceso fácil y seguro a su propia información de uso de energía (EUI) en un formato agradable para el consumidor y fácil de usar el ordenador. En la actualidad, 48 empresas de servicios públicos y los proveedores de energía eléctrica que sirven a más de 59 millones de hogares y empresas se han comprometido a permitir que sus clientes tengan el acceso al "Green Button" para ayudar a ahorrar energía y reducir sus facturas. De ellos, más de 42 millones de clientes domésticos y comerciales (alcanzando más de 100 millones de estadounidenses) ya tienen acceso a sus datos de energía Green Button [75].

Los datos obtenidos en el Green Button estarán disponibles para cualquier cliente que tenga instalado un medidor inteligente. Cerca de 5,4 millones de hogares y negocios de acuerdo a los datos de seguimiento [76].

Hasta la fecha, casi 6 millones de hogares en California, lo que representa unos 17 millones de consumidores de energía eléctrica, pueden utilizar el Green Button para descargar su propia información detallada sobre el uso de la energía con un simple "click". A través de todo el país también se ha desarrollado la implementación del Green Button en Texas, Maryland y Washington DC que prestan servicio colectivamente a otros 11 millones de hogares [77].

La iniciativa de implementar un Green Button, ha permitido no solo la unión de entidades públicas con el sector privado, sino que su desarrollo cada vez es más

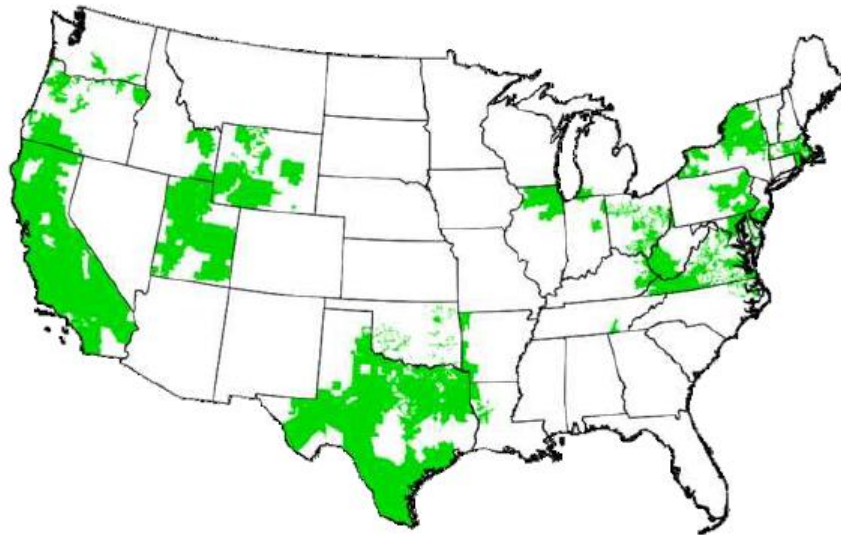
fuerte, lo cual ha impulsado a los diferentes proveedores de servicios a llegar a más ciudades en todo el país.

Las siguientes son algunas de las regiones de los Estados Unidos en las cuales se ha implementado el Green Button [54]:

- ✓ California
- ✓ Texas
- ✓ Illinois
- ✓ Maryland
- ✓ Maine
- ✓ New York
- ✓ Florida
- ✓ Massachusetts
- ✓ Minnesota
- ✓ Wisconsin
- ✓ Michigan
- ✓ Oregon
- ✓ Utah
- ✓ Colorado
- ✓ Washington
- ✓ Carolina del Norte

Sin embargo otras regiones ya se encuentran comprometidas para lograr la implementación a nivel nacional del Green Button. La figura No. 32 integra las regiones en las cuales se ha implementado y se implementará la iniciativa de acuerdo a estos compromisos ya establecidos.

Figura 32. Implementaciones en diferentes regiones de Estados Unidos.



Fuente: BALIJEPALI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Department of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013 [52].

6.3 Implementación del Green Button en la India.

El desarrollo de los literales 4.3 y 4.4 tienen como fuente el documento “Green Button Standards for India” elaborado por V. S. K. Muthy Balijepalli [52].

Como mencionamos anteriormente el Green Button permite al usuario de energía eléctrica descargar de forma segura y fácil su propia información para analizar el consumo de energía en su hogar utilizando información de su sitio web del proveedor de servicios públicos o de la comercializadora de energía eléctrica. Los consumidores pueden utilizar datos del Green Button para:

- Elegir el plan de tarifa más económica para sus patrones de uso.
- Utilizar consejos de eficiencia energética personalizada.

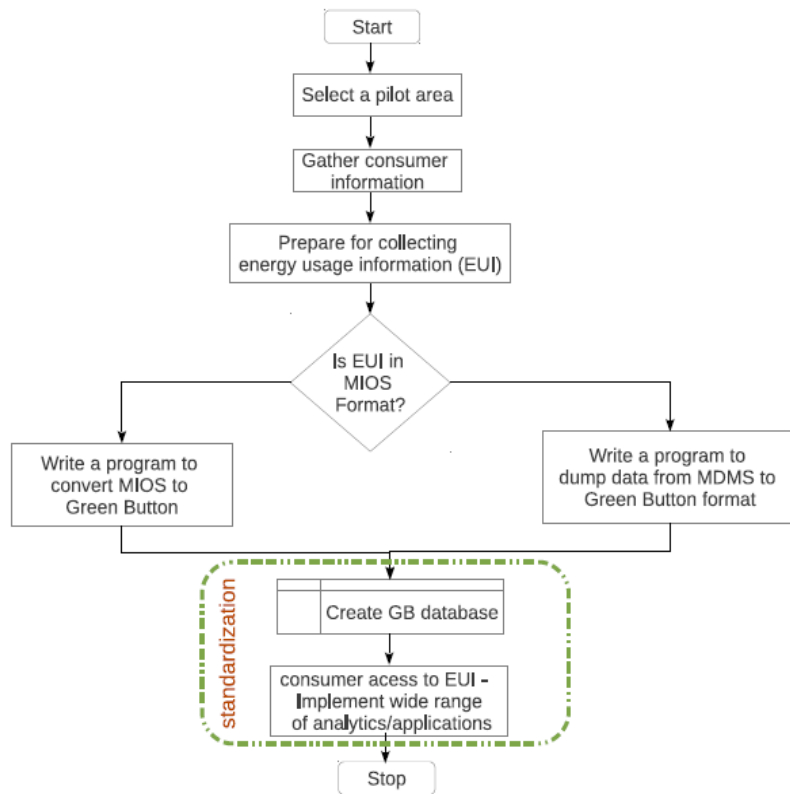
- Adoptar herramientas fáciles para el uso y financiación de los paneles solares instalados en los hogares.
- Llevar a cabo auditorías energéticas virtuales que pueden reducir los costos para los propietarios de edificios.
- Desarrollo de aplicaciones y servicios innovadores para ayudar a los consumidores a entender y administrar el uso de energía y comprender los impactos ambientales a un campo propicio para la innovación.

6.3.1 Caso de estudio: MSEDCL²⁶ para Implementación del Green Button.

Los consumidores en el área de Vashi en la ciudad de Mumbai son elegidos para la implementación del Green Button. La información sobre el uso de energía de 1.388 consumidores está disponible en la gestión de datos de medición del sistema. La totalidad de los datos son considerados para la implementación del Green Button. La figura No.33 corresponde a un diagrama de flujo de la aplicación.

²⁶ MSEDCL: Es la segunda mayor empresa de distribución de electricidad en el mundo después de State Grid Corporation de China.

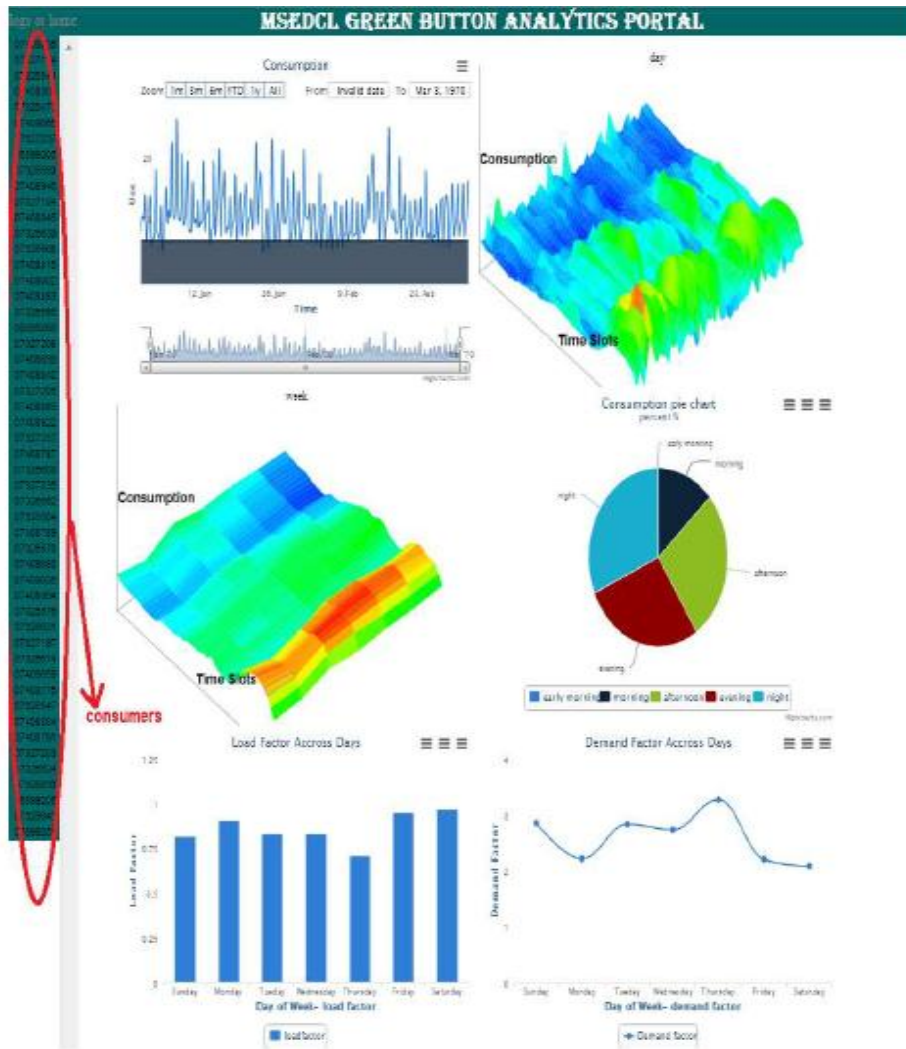
Figura 33. Aplicación del organigrama del Green Button.



Fuente: BALIJEPALI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Department of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013 [52].

Los análisis utilizados en este estudio son los patrones de consumo, cálculos del factor de carga, cálculos del factor de demanda y segmentación de los consumidores. A continuación la figura No.34 muestra la captura de pantalla del Green Button del portal MSEDCL, en donde se pueden ver los datos del consumo de energía de los usuarios semanalmente, del factor de carga y de demanda a través de los días e incluso de un día de la semana.

Figura 34. Captura de pantalla del portal de MSEDCL del Green Button.



Fuente: BALIJEPAI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Department of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013 [52].

6.3.2 Ejemplos de los formatos del Green Button.

Archivos del Green Button típicos contienen los detalles sobre el tipo de cliente, el dispositivo, la ubicación, lecturas, datos de intervalo, la información resumida y las métricas de calidad de energía.

6.3.3 Problemas de aplicación.

Existen varias dificultades en la implementación de nuevos estándares como Green Button. Algunos de los siguientes aspectos que requieren atención urgente son:

- *La falta de conocimiento de las normas.*

La tecnología y las herramientas a implementar DISCOMs²⁷ deberían recibir formación sobre diversos aspectos de normas técnicas más recientes y datos que conducen las empresas de servicios públicos a los puntos de referencia mundiales. La normalización permite a las empresas compartir información entre sí, y otros clientes externos sin ningún proveedor con barreras específicas. Una exposición a aplicar esas normas utilizando herramientas de código abierto tiene que ser dada a cada DISCOM través de programas regulares de capacitación.

- *La falta de experiencia del personal para la implementación.*

La experiencia personal es la fuerza motriz fundamental para cualquier aplicación con éxito de una red inteligente piloto. Para construir dicha experiencia dentro de DISCOMs se requiere la colaboración de instituciones académicas de formación tanto en la India como en otros países. Para implementar los estándares del Green Button, el personal debe tener conocimiento acerca de XML, RDF, JavaSpring, y otras tecnologías, junto con la necesaria experiencia en el campo.

- *La incapacidad para comunicarse efectivamente con los consumidores.*

Las DISCOMs actualmente no tienen participación de manera efectiva con los consumidores debido a la falta de información de uso de energía en tiempo real. Ahora, los proyectos de redes inteligentes están dando a algunos de ellos una oportunidad estar equipados con información en tiempo real de los consumidores e innovar en el desarrollo de los diferentes servicios. La implementación de las

²⁷ DISCOMs: son entidades de propiedad estatal, donde existe una mezcla de tipo urbano y rural.

normas del Green Button para estandarizar la información de uso de energía que logre permitir a los DISCOMs comunicarse e innovar en los servicios que el consumidor recibe de un tercero.

- *El conocimiento del consumidor y la aplicación independiente de terceros.*

La sensibilización de los consumidores es la clave para la conducción independiente de la aplicación de terceros en el sistema, lo anterior no debería ser un problema en la aplicación de las normas del Green Button. Sin embargo este tipo de implementaciones deben comenzar primero con la educación del consumidor en la forma en que pueden utilizar su información de uso de energía para acumular beneficios. Esto permite motivar a los desarrolladores independientes para presentarse y desarrollar aplicaciones y servicios basados en información sobre el consumo de energía, que a su vez beneficia a los consumidores y a empresas de servicios públicos.

6.3.4 Herramienta de educación del Green Button (GamBIT).

La herramienta de educación del Green Button ó Green Button education Tool (GamBIT) es una herramienta de educación para la comprensión de las normas del Green Button y la asistencia interactiva para la entrada del usuario y la correcta obtención de aplicaciones de consumo estandarizadas. Las principales características de ésta herramienta son [52]:

- Presentación de fácil uso de las clases y los atributos disponibles en las normas del Green Button.
- Capacidad de crear una base de datos orientada al Green Button con las características de clases seleccionadas, adición de atributos y referencias de opciones de configuraciones claves primarias y externas.
- Posibilidad de crear perfiles para la aplicación elegida por el usuario; esto permitirá que el DISCOMs para construir y compartir aplicaciones con base en la información de uso de energía entre sí.

6.4 Grupos de estándares del Green Button.

El importancia de los usuarios finales en el marco del entorno de una red inteligente puede ser facilitado eficazmente sólo cuando hay un desarrollo de las normas a través de los servicios orientados al consumidor final para promover la interoperabilidad entre los consumidores finales, la empresa de energía y los servicios de terceros. Se abre un paradigma en la red inteligente que evoluciona el dispositivo central existente (medidores inteligentes, sensores, hogares, etc.) a actividades del servicio central. Los beneficios son tres:

- Las operaciones de suministro eficiente de energía a través de reducción de costos de adquisición y un mayor compromiso de los consumidores.
- Ahorro en la factura de energía eléctrica y otros incentivos para los consumidores finales.
- Fomento de la iniciativa en el consumidor final orientada a servicios de terceros que benefician tanto al usuario final y las empresas de servicios públicos.

La literatura sobre las normas del Green Button es limitada y la poca información sobre dichas se encuentra en su mayoría en determinados sitios web. Los estándares del botón verde representan las contribuciones realizadas a través de grupos como OpenADE, NAESB ESPI, NIST, SGIP, PAP 20, PAP10.

6.4.1 OpenADE

OpenADE representa el servicio de datos de Internet proporcionado por proveedores de servicios energéticos. El objetivo de OpenSG consiste en promover la interoperabilidad, proporcionando un uso fácil, y un conjunto de tecnologías simples comúnmente disponibles. Con este objetivo, el propósito es definir formatos XML para los datos de carga útil que se pueden utilizar con una arquitectura orientada a los recursos o la arquitectura orientada a servicios.

6.4.2 PAP 10

Este plan de acción tiene como objetivo crear estándares de datos para el intercambio de información importante y oportuna sobre el consumo de la energía. El primer objetivo es un acuerdo en el conjunto de una información básica para permitir la integración del uso de la misma a lo largo de los procesos de adopción. Los clientes y los proveedores de servicios de terceros autorizados por el cliente serán los estándares para acceder a la información de uso de energía tanto de la red eléctrica inteligente como de la medición, lo que les permite tomar mejores decisiones sobre el uso de energía y la conservación de la misma. Los consumidores y los sistemas basados en premisas utilizarán estos estándares para proporcionar información en tiempo real sobre el rendimiento actual y el proyectado usando la infraestructura de la red inteligente, la cual permite que esta información sea compartida con mayor facilidad en el hogar, edificio o instalación industrial. El uso de la información fluye en ambos sentidos mejorando la operación y el rendimiento energético.

Los estándares de datos permiten un beneficio inmediato y generalizado, apoyando el acceso al uso de información mensual, ya que están disponibles, a un cercano tiempo real por medio de los contadores inteligentes y otros dispositivos desplegados en la red. Los estándares permitirán la innovación de servicios de terceros y proveedores de software para ayudar a los consumidores y a las operaciones a gestionar el consumo de energía. En ausencia de estas normas, los desarrolladores de software y aplicaciones tendrían que negociar las interfaces, una situación poco práctica. Las normas también promoverán las instalaciones de mayor capacidad de respuesta con dispositivos que pueden entregar y gestionar el uso de información común más rápidamente.

6.4.3 NAESB ESPI

El propósito de NAESB ESPI es la creación de un proceso estandarizado e interfaz que permita el intercambio de información sobre el uso de la energía de un

cliente entre su custodio de los datos (es decir, el operador de red) y un tercero que desarrolle los servicios. Además proporcionar un método para la autorización de acceso de terceros al uso de la información de los consumidores y estandarizar una interfaz para el intercambio de la información para apoyar el desarrollo de productos innovadores que permitan a los consumidores comprender de una mejor manera su consumo de energía y lograr tomar decisiones sobre el costo de su consumo energético. El grupo de estándares NAESB ESPI proporciona prácticas de modelos de negocios, casos de uso, y un esquema XML que describen los mecanismos por los cuales se realiza el intercambio de la información. El esfuerzo en el desarrollo de normas NAESB se llevó a cabo con el apoyo del NIST²⁸ (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) y SGIP²⁹ (Grupo de Interoperabilidad de las Redes Inteligentes).

6.4.4 PAP 20

Este Plan de Acción Prioritaria sigue la evolución del Green Button y ESPI fomentando los requisitos para el establecimiento de las normas y la evolución, las pruebas y especificaciones de certificación, las muestras de referencia o implementaciones y los arneses de prueba. Colectivamente estas acciones apoyarán una penetración fuerte y rápida de mercancías interoperables y servicios de apoyo a intercambio de EUI [52].

6.4.5 Ventajas de las normas del Green Button para los consumidores.

Las principales ventajas que proporcionan las diferentes normas para los consumidores son:

- La disponibilidad de datos sobre el uso de energía detallados (formato estandarizado) para la comprensión del uso de energía en el hogar y encontrar maneras de reducir el consumo de energía eléctrica y por lo tanto los costos de las facturas.

²⁸ NIST: instituto nacional de estándares y tecnología.

²⁹ SGIP: panel de interoperabilidad de Smart Grid.

- Capacidad para que los consumidores compartan sus datos de uso de la energía con terceros y desarrolladores de aplicaciones.
- Fácil intercambio de datos entre los consumidores y terceros.
- Promover el conocimiento de la energía eléctrica para los consumidores y la innovación entre la aplicación.
- Impulsar la medición de las inversiones en eficiencia energética.
- Soportar auditorías energéticas eficaces para el sector residencial e industrial.

6.5 Aproximación a una futura implementación del Green Button en Colombia.

Las iniciativas de los servicios contextuales enunciadas en los capítulos anteriores, permiten identificar, proponer y llevar a cabo proyectos piloto en un contexto regional a partir de modelos implementados a nivel internacional, los cuales han sido desarrollados bajo los parámetros propios de cada una de las regiones (población, demanda energética, nivel social y cultural, educación etc.) proporcionando la información necesaria para desarrollar la viabilidad del negocio entre el consumidor final, el operador de red y terceros.

Adicionalmente al momento de la implementación en el sector regional, al establecer el modelo base del proyecto, éste se debe ajustar a los parámetros propios de la región. Por lo tanto, cada implementación debe contener características únicas asociadas al desarrollo de la misma.

Además es necesario definir lineamientos a nivel político, regulatorio, social, cultural, económico y educativo para realizar la proyección de la iniciativa en el entorno regional para el diseño del modelo que permita ofrecer garantías de desarrollo para los agentes involucrados.

La visión de la aplicación de esta alternativa es establecer la posibilidad de que en el menor tiempo posible y teniendo en cuenta los estándares anteriormente enunciados se desarrolle la iniciativa Green Button en cada una de las ciudades de Colombia. Así mismo previa y posteriormente a la implementación se considera importante el acompañamiento, la socialización y la concienciación por parte de los proveedores de servicios públicos y entidades gubernamentales a los consumidores en aspectos fundamentales como el ahorro energético, la autorización del suministro de datos de consumo de energía y el buen uso de la plataforma, ya que será finalmente el usuario el encargado de tomar decisiones sobre su propio consumo energético por medio de la autorización del intercambio de la información de uso energético (EUI) entre el operador de red y terceros con el objetivo de obtener servicios complementarios.

A continuación se describen las iniciativas en Colombia con el fin de conocer la situación actual para la implementación del Green Button.

6.5.1 Iniciativa Colombia inteligente.

La comisión de integración energética regional, el área de generación y transmisión, y el grupo de trabajo de operadores y administradores de mercados (CIER) convocó a diferentes empresas (CIDET³⁰, XM³¹, COCIER) para definir un plan de comunicaciones de Colombia inteligente. En la cual se propusieron los siguientes objetivos [78]:

- Motivar la formación de competencias en el recurso humano propicias la implementación y operación de las Redes Inteligentes en Colombia.
- Promover lineamientos, políticas generales y aspectos regulatorios que apoyen, promuevan y faciliten el desarrollo y definan el enfoque de acciones pertinentes a las Redes Inteligentes en Colombia.

³⁰ CIDET:centro de investigación y desarrollo tecnológico

³¹ XM:COMPAÑÍA QUE opera el Sistema Interconectado Nacional de Colombia y administra el Mercado de Energía Mayorista (MEM) de Colombia

La iniciativa Colombia Inteligente al recibir la invitación contactó al ICONTEC³² para generar por medio de sus grupos de trabajo, la viabilidad de la participación de Colombia en el SGIP. Luego del análisis detallado en sus instancias técnica, jurídica y estratégica, el ICONTEC aprobó por intermedio de su Directora Ejecutiva Doctora María Zulema Vélez Jara un acuerdo con el NIST que promueve el trabajo conjunto entre Colombia y Estados Unidos en los siguientes temas [79]:

- Arquitecturas de redes inteligentes y Modelo Conceptual.
- Compartir Casos de Uso (Descripción de aplicaciones).
- Pruebas y certificación de estándares de interoperabilidad.
- Colaboración General.

La iniciativa sectorial "Colombia Inteligente", conformada por diferentes empresas (XM, EPM, CODENSA, EMCALI, CELSIA, EPSA, ELECTRICARIBE, EEB, ISAGEN), centros de desarrollo tecnológico (CIDET, CINTEL³³) y entidades sectoriales (CNO, CAC, COCIER), propuso en 2011 una primera versión de un mapa de ruta para el aprovechamiento de las tecnologías "red inteligente" en Colombia. Con liderazgo de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el respaldo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) pronto se actualizará este mapa de ruta en donde se examinen las diferentes opciones de tecnologías que puede tener en el país a partir de las necesidades de los consumidores de energía eléctrica junto con una evaluación de los beneficios e impactos esperados. Este mapa es fundamental para la toma de decisiones con respecto a políticas de gobierno, ajustes del marco regulatorio, articulación de actores y priorización de acciones, investigaciones e incentivos [80].

6.5.2 Colombia avanza.

Los avances más sobresalientes que se tienen en el país, relacionados con redes inteligentes son medición inteligente (AMI), generación distribuida (GD), red

³² ICONTEC: El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es el Organismo Nacional de Normalización de Colombia.

³³ CINTEL: centro de investigación de las telecomunicaciones

flexible, la mayoría a nivel de pilotos a escala. Casos como Emcali, Electricaribe, Codensa y Empresas Públicas de Medellín (EPM) han desarrollado proyectos con medidores inteligentes y medición prepago de electricidad, buscando la reducción de pérdidas no técnicas.

El Doctor Rubén Darío Cruz Rodríguez, Director de Innovación del CIDET, destaca que empresas como XM, junto con la Universidad Pontificia Bolivariana, han establecido, a lo largo del Sistema de Transmisión Nacional, una red de medidores sincrofasoriales, denominada iSaac (intelligent Supervisión and Advanced Control System), que permite la detección temprana de fallas y evita colapsos del sistema. Por otra parte ISAGEN, con apoyo del BID³⁴, han estado evaluando la posibilidad dos proyectos geotérmicos, uno en el macizo Volcánico del Ruiz y otro binacional en la frontera con Ecuador [81].

6.5.3 EPSA.

Está generando en la ciudad de Cali una implementación de medición avanzada con 9.000 medidores AMR³⁵ para la reducción de pérdidas de 5 GWh al Año (Reduciendo 1375 Ton de emisiones de CO2 /Año) y 2.000 medidores AMI que cuidan el 50% de la energía entregada y el 100% de la energía recibida.

6.5.4 ELETRICARIBE.

Desde 2006 comenzó el proceso de renovación tecnológica de su parque de medida los cuales 60.000 clientes con medida centralizada que registran y apoyan al control de 16 Gwh/mes. La instalación en los 7 departamentos de la región Caribe, disminución de pérdidas no técnicas del orden de 25 Gwh acumulados (Equivalentes a dejar de emitir unas 6900 Toneladas de CO2) con el consecuente incremento en ventas y mejora de los índices de recaudo.

³⁴ BID:banco interamericano de desarrollo

³⁵ AMR: sistemas para la lectura remota de medidores o contadores

6.5.5 EMCALI.

En la actualidad, la empresa prestadora de servicios públicos en la ciudad de Cali EMCALI ha implementado diversas tecnologías de medición inteligente en el proyecto AMI TWACS que cuenta además con el apoyo de Colombia Inteligente, un organismo que coordina los diferentes esfuerzos por implementar la tecnología de redes inteligentes en el país y cuyo objetivo fundamental es establecer un marco de lineamientos, políticas y estrategias para su desarrollo óptimo en el sistema eléctrico colombiano [67]. La figura No. 35 muestra el estado de esta iniciativa de EMCALI.

Figura 35. Estado de desarrollo EMCALI.



Fuente: COLOMBIA INTELIGENTE, Avances de las Redes Inteligentes. 3rd Seminario de Eficiencia Energética en Servicios Públicos. Bogotá, Colombia. Febrero, 2013 [67].

El proyecto AMI TWACS es liderado por la Gerencia de Unidad Estratégica de Negocio de Energía (GUENE) de la empresa de servicios públicos - EMCALI. Ésta

adoptó en el 2010 la tecnología de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) TWACS³⁶ de la firma ACLARA.

El proyecto además busca aprovechar los diferentes beneficios que proporciona dicha tecnología, como por ejemplo [67]:

- Proveer información de interés para la gestión del sistema, como por ejemplo, la tensión en el punto de conexión, la medición de energía activa y reactiva, el perfil de carga horario, los balances de carga por transformador, entre otras.
- Gestionar el sistema de alumbrado público.
- Gestionar la demanda mediante la conexión/desconexión remota programada de cargas en baja tensión.

Considerando que los medidores inteligentes a instalar en los usuarios de los estratos 1, 2 y 3 tienen incorporada la función de control de carga, se realizó un estimado de la cantidad de estos equipos requeridos para cubrir a los usuarios de Cali que a Julio de 2013 estaban suscritos a EMCALI, ENERTOTAL y VATIA como se visualiza en la tabla 18 conforme a la información proporcionada por el Sistema Único de Servicios Públicos (SUI) [67].

³⁶ El sistema TWACS (Two Way Automated Communications System) es un sistema de comunicación bidireccional que emplea la infraestructura del sistema de distribución eléctrico existente y permite obtener, comunicar y analizar la información del consumo energético del consumidor.

Tabla 18. Cantidad estimada de medidores inteligentes en los diferentes estratos.

ESTIMACIÓN DEL RCE POR EMPRESA			
Empresa	Estrato		
	1	2	3
EMCALI	89.576	152.662	175.463
ENERTOTAL	1.341	1.501	2.069
VATIA	3	509	3.925
Total/Estrato	90.920	154.672	181.457
TOTAL	427.049 Medidores		

Fuente: PÉREZ, V. E. Estudio preliminar sobre la viabilidad de la implementación de medidores inteligentes de energía en los estratos 1, 2 y 3 de Cali. Trabajo de grado Ingeniera Electricista. Santiago de Cali, Colombia.: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2013.

El proyecto AMI TWACS está encaminado a la implementación de la tecnología AMI en diferentes subestaciones como Aguablanca, Centro y Guachicono, con un total de 13976 medidores AMI instalados [82].

6.5.6 Marco normativo.

El avance de la medición inteligente se ha desarrollado de manera paralela en diferentes países del mundo, principalmente en el continente europeo. Otros países avanzados en el tema de medición inteligente son China e India, los cuales desarrollan sus propias normas y estándares dirigidos a la plataforma de medición avanzada AMI. La nación con mayor avance en el continente americano es los Estados Unidos, que al igual que los países mencionados anteriormente desarrolla sus propias normas y estándares.

Actualmente el desarrollo de la medición inteligente alrededor del mundo se ha convertido en un componente clave de la visión futura que se tienen de las redes de energía eléctrica. Esto es debido a que la implantación de una red inteligente conlleva una serie de beneficios y características necesarias para lograr suplir las necesidades actuales y futuras de una adecuada prestación del servicio de

energía eléctrica. Este desarrollo se ha visto reducido en muchos casos debido a las limitaciones de diferentes factores que se presentan en cada uno de los sitios interesados en implementar la nueva tecnología. Entre estas limitaciones se encuentran aspectos de tipo político, social, económico y tecnológico, normativo y de tipo regulatorio, que influyen de forma trascendental en la realización de cualquier proyecto [30].

6.5.6.1 Marco normativo internacional.

La normatividad para el desarrollo de la medición es demasiado importante ya que a partir de las diferentes normas se puede implementar, masificar y controlar. A nivel internacional se ha tomado como referencia la norma IEC 61968 la cual forma en si una extensión de la norma IEC 61970.

La *International Electrotechnical Commission (IEC)* es una organización líder en el mundo en la publicación de estándares internacionales para tecnologías relacionadas con electricidad y electrónica, que cuenta con más de 65 países miembros, entre los que se cuenta Colombia. La importancia de los estándares IEC para Colombia se ve reflejada en el hecho de que muchas normas NTC son adopciones idénticas de los estándares IEC.

La IEC cuenta con dos comités de normalización especializados en redes inteligentes: el TA 12, que se ocupa de los temas de eficiencia energética y redes inteligentes, y el PC 118, que se ocupa de las interfaces de usuario para redes inteligentes. Pese a que estos comités no han publicado hasta la fecha ningún documento específico, la IEC ha identificado alrededor de 100 estándares relevantes para las redes inteligentes publicados por otros comités [83].

La norma IEC 61968 tiene como objetivo el apoyo de la integración entre aplicaciones de una empresa de servicios públicos para conectar aplicaciones no interoperables ya construidas o por implementarse, cada uno apoyado por entornos de ejecución diferentes, el cual cuenta con diversidad de leguajes,

sistemas operativos, protocolos, arquitecturas, servicios, sistemas, metodologías, software y hardware así como herramientas de gestión.

La norma IEC 62056 hace referencia al intercambio de datos para lectura de medidas, tarifas y control de carga. Además la norma ANSI C12 se encarga de los estándares de calidad de la medición, y su aplicación dada para la medición avanzada inteligente (AMI).

En la actualidad se continúa trabajando en supervisar las áreas de trabajo de estas normas para determinar posibles actualizaciones, modificaciones o creación de nuevos estándares.

6.5.6.2 Marco normativo Colombiano.

Algunas normas ya vigentes se encuentran en revisión por parte de los respectivos comités de normalización, con el fin de adaptarlas con miras a la implementación de las redes inteligentes en Colombia. La mayor parte de estas normas se refieren a medidores de energía y a protocolos de seguridad y comunicación. A continuación se presentan algunas de estas [83], [84]:

- NTC 4440, EQUIPOS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. INTERCAMBIO DE DATOS PARA LA LECTURA DE MEDIDORES, TARIFA Y CONTROL DE CARGA. INTERCAMBIO DE DATOS LOCALES DIRECTOS (26/10/2005).

Constituye una adopción idéntica por traducción de la norma IEC 62056-21 y se encuentra en revisión por parte del comité 144 (Medidores de energía eléctrica).

La norma contiene las especificaciones de hardware y de protocolo para el intercambio local de datos de los medidores, usando una unidad portátil HHU. Además presenta diagramas y especificaciones de las interfaces (óptica y eléctrica) y sus componentes, así como especificaciones referentes a la transmisión de datos (velocidad de transmisión, código del carácter) y una completa descripción del protocolo de transmisión de datos.

- NTC 5753, MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. GLOSARIO DE TÉRMINOS (21/04/2010).

Esta norma proporciona definiciones de términos específicos que pueden ser usados en las normas sobre medida eléctrica, tarificación y control de cargas y sistemas de intercambio de información cliente-empresa de servicios públicos. Actualmente se encuentra en proceso de actualización por parte del comité técnico 144 del ICONTEC.

- LEY 697 DE 2001.

Por medio de la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Artículo 1°. Declárese el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales [85].

- LEY 1715 DE 2014 (13 de Mayo de 2014).

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Artículo 2°. Finalidad de la ley. La finalidad de la presente ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de

compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) mediante la Ley 1665 de 2013 [84].

Son finalidades de esta ley [84]:

- Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano que garanticen el cumplimiento de los compromisos señalados en el párrafo anterior.
- Incentivar la penetración de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético colombiano, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en todos los sectores y actividades, con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica.
- Establecer mecanismos de cooperación y coordinación entre el sector público, el sector privado y los usuarios para el desarrollo de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, y el fomento de la gestión eficiente de la energía.
- Establecer el deber a cargo del Estado a través de las entidades del orden nacional, departamental, municipal o de desarrollar programas y políticas para asegurar el impulso y uso de mecanismos de fomento de la gestión eficiente de la energía de la penetración de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en la canasta energética colombiana.

- Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen desarrollo de tales fuentes en Colombia.
- Establecer los criterios y principios que complementen el marco jurídico actual, otorgando certidumbre y estabilidad al desarrollo sostenible de las fuentes no convencionales de energías, principalmente aquellas de carácter renovable, y al fomento de la gestión eficiente de la energía. Suprimiendo o superando gradualmente las barreras de tipo jurídico, económico y de mercado, creando así las condiciones propicias para el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, y el desarrollo de un mercado de eficiencia energética y respuesta de la demanda.
- Fijar las bases legales para establecer estrategias nacionales y de cooperación que contribuyan al propósito de la presente ley.

La implementación de medidores inteligentes requiere de un marco regulatorio y normativo, puesto que de esta manera se garantiza la interoperabilidad entre los sistemas y productos de los diferentes fabricantes; además, se fijarían artículos regulatorios en los que se especifiquen todos los aspectos que involucraría la medición inteligente, es urgente que en Colombia se inicie la discusión sobre la consideración de activos "red inteligente" que agregan valor a toda la cadena de suministro de electricidad que permiten nuevas posibilidades y mejoras en la eficiencia y el costo de la energía, y redundan en un menor impacto ambiental. Se tienen grandes expectativas con respecto a la Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 "*Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*", ya que no ha sido suficiente el

avance a partir de la Ley 697 del 3 de octubre de 2001 "*mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas*" reglamentada por el decreto 3683 de 2002. No obstante, aun quedan importantes aspectos de las tecnologías de la red inteligente por considerar y la reglamentación de la Ley 1715, actualmente en desarrollo, debe ser especialmente cuidadosa en este sentido [80].

6.5.7 Etapas para la implementación del Green Button

La iniciativa del Green Button es una idea de sentido común para los usuarios de energía eléctrica en la ciudad de Bucaramanga, los cuales deben ser capaces de descargar su propia información detallada sobre el uso de información de energía del hogar utilizando unos sitios web.

Con la iniciativa del Green Button, los proveedores de energía ofrecen a los clientes acceso en línea fácil y seguro a sus datos de carácter personal de uso de energía. Los Clientes pueden iniciar sesión y hacer "click" en el Green Button para lograr visualizar y descargar su información personal del uso de información de la energía.

La plataforma también ofrece la oportunidad a los desarrolladores y terceros para diseñar aplicaciones que puedan utilizar los datos de consumo de energía del cliente en caso en el que éste previamente decida autorizar el flujo de la información sobre el uso de energía (EUI) desde el proveedor de energía eléctrica hacia terceros. Las etapas para la implementación del Green Button se describen a continuación.

6.5.7.1 Infraestructura de Medición Avanzada (AMI).

Los proyectos mencionados anteriormente a nivel nacional, permiten observar el desarrollo que se está realizando en ciudades importantes en el país con respecto a la medición inteligente. Es necesario para la implementación del Green Button, desarrollar proyectos en los cuales se instalen medidores inteligentes en el sector

residencial e industrial, ya que estos son la base fundamental para la recopilación de los datos de los usuarios finales por parte del operador de red.

Se debe tener en cuenta todos los aspectos normativos acerca de la medición inteligente avanzada, dada por los diferentes entes a nivel nacional al momento de desarrollar los proyectos de instalación de medición inteligente.

6.5.7.2 Grupos de estándares y normas del Green Button.

Es necesario partir del escenario encontrado en los Estados Unidos, el cual se generó por parte de una iniciativa presidencial provocando el interesante desarrollo tecnológico mencionado anteriormente. Por lo tanto Colombia necesita la unión de diferentes entidades del sector público y privado para la creación de diferentes grupos que desarrollen estándares que permitan la consolidación de los proyectos de redes inteligentes en el sector energético. Además la integración de estos grupos nacionales del sector eléctrico permitirá el desarrollo de estándares y normas posibles para la creación de iniciativas como el Green Button. Algunos de los requerimientos para dicha iniciativa son:

- Un grupo que promueva la interoperabilidad, proporcionando un uso fácil, y un conjunto de tecnologías simples comúnmente disponibles. Con el objetivo de definir formatos para los datos de carga útil que se pueden utilizar con una determinada arquitectura orientada a los servicios.
- Un grupo que defina estándares de datos para el intercambio de información importante y oportuna sobre el uso de energía, entre el usuario final, el operador de red y desarrolladores de aplicación o terceros.
- Un grupo que desarrolle un proceso estandarizado y proponga una interfaz para el intercambio del uso de información de energía de un cliente entre su operador de red (es decir distribuidoras empresa) y un tercer proveedor de servicios autorizado.

- Un grupo que establezca las normas y requisitos para la implementación de pruebas y especificaciones de certificación.

6.5.7.3 Implementación del Green Button

La estructura de la información de uso de la energía del cliente incluye las posibles derivaciones que se pueden presentar a partir del punto de uso y la necesidad o requerimiento del cliente, como por ejemplo:

- Categorías de servicio.
- Lectura de la medición.
- Resumen de potencia eléctrica.
- Resumen de calidad de potencia eléctrica.

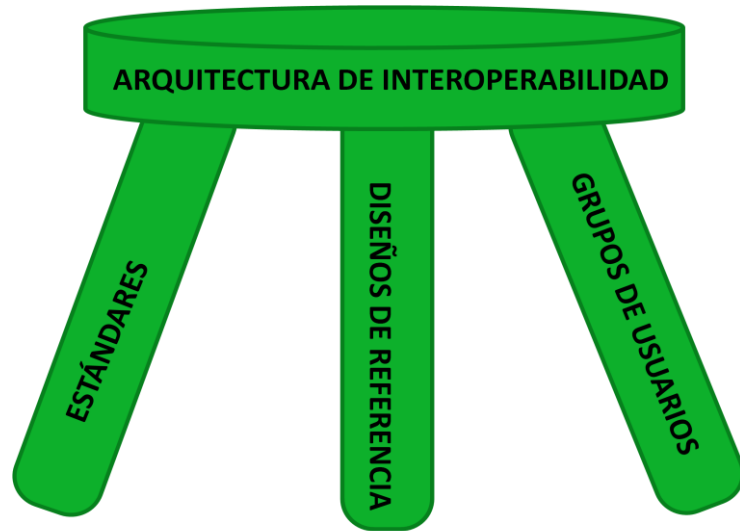
Dicha información debe ser tratada con diferentes tipos de tecnología, los cuales son:

- XSD: Describe las reglas de formato de archivo XML de forma precisa.
- XML: Contiene datos de EUI del cliente en formato de archivo estándar y las referencias a XSD y XSLT.
- XSLT: Define cómo transformar el lenguaje XML en formato Web HTML ó XHTML para presentar la EUI de forma clara a los usuarios.

A partir de diferentes fuentes de información de uso de la energía tales como: la AMI y protocolos de comunicación, se obtiene un formato único de datos, con el fin de reproducirlos a través del display de los diferentes equipos de comunicación (Teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, tabletas, etc.).

Para el desarrollo del Green Button se presentan 3 escenarios: el cliente, el operador de red (datos asegurados) y terceros. La interoperabilidad en la implementación debe estar sostenida por los 3 pilares fundamentales como se muestra en la figura No. 36 [52]:

Figura 36. Arquitectura de interoperabilidad del Green Button.



Fuente: http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#From_W3C_Standards_ESPI_To_Green.

- Estándares: Protocolos, esquemas de prueba, modelos de objetos.
- Grupo de Usuarios: Acuerdos de interoperabilidad, etiquetado, pruebas, problemas de resolución.
- Código de servicio: Enfocado a proyectos de desarrollo, herramientas de desarrollo, normas e implementaciones de prueba.

6.5.7.4 Usos del Botón Verde

La facilidad al acceso en la utilización de esta iniciativa, tendrá múltiples beneficios que los consumidores podrán obtener:

- **Ahorrar Dinero:** Comprensión del uso de energía en el hogar y encontrar maneras de reducir el consumo de energía eléctrica y por lo tanto reducir los costos de las facturas.
- **Visión:** El empresario crea portales web que pueden analizar el uso de la información de la energía y proporcionar consejos o auditorías energéticas.

- **Calefacción y refrigeración:** Calefacción personalizada y actividades para el ahorro y el confort.
- **Educación:** Competiciones en la comunidad y en los estudiantes acerca de la eficiencia energética.
- **Adaptaciones:** Herramientas de soporte de decisiones para facilitar la reconversión de eficiencia energética.
- **Verificación:** Medición de las inversiones en eficiencia energética.
- **Bienes Raíces:** Prestación de los costos de energía para los inquilinos y/o nuevos compradores de inmuebles.
- **Solar:** Optimizar el tamaño y el costo-efectividad de los paneles solares en las edificaciones.

Los datos del Green Button apoyarán las auditorías energéticas para hogares y negocios. Los consumidores también pueden utilizar una variedad cada vez mayor de las nuevas herramientas de la web y teléfonos móviles inteligentes para tomar decisiones más informadas de energía, optimizar el tamaño y el costo-efectividad de los paneles solares para su hogar (cuando sean instalados y regulados por los diferentes entes), o verificar que las inversiones de modernización de la eficiencia energética se están desempeñando como se había prometido [74].

7. CONCLUSIONES

En este capítulo se realiza una síntesis del proyecto, describiendo las conclusiones más importantes junto con algunas observaciones sobre los servicios contextuales entorno a una red eléctrica inteligente residencial y la iniciativa GREEN BUTTON.

Durante el desarrollo del trabajo de grado se pudo observar el cumplimiento con cada uno de los objetivos planteados al inicio del documento. A continuación se realiza un paralelo entre los objetivos y lo que se desarrolló para lograr su cumplimiento.

- **Describir de manera teórica el comportamiento energético de una red inteligente residencial típica basada en el estudio de los sistemas de gestión energética (AMI) y (HEMS).**

Se presentó una descripción del sistema de gestión energético residencial (HEMS) con sus respectivas características, los diferentes protocolos en la red de comunicación, la información que capta este sistema y la conceptualización del componente ontológico. También se conceptualizó la infraestructura de medición avanzada (AMI) por medio del análisis de sus características, funciones, requisitos y componentes, además de los diferentes componentes y modelo NIST de la Smart Grid.

- **Estudiar las características, atributos de calidad, arquitectura y entornos más comunes en los cuales los servicios contextuales pueden satisfacer las necesidades de los usuarios.**

Se evidencia el estudio de las características y atributos de calidad con los cuales se identifica un servicio contextual, además de la interacción entre las diferentes capas (física, intermedia y de aplicación) con el modelo de predicción de eventos con el objetivo mejorar la planificación y el ajuste del servicio que requiere el

usuarios con relación a la información de su entorno. Por otra parte, se indicó las plataformas OSGi y SOA pertenecientes a la arquitectura y finalmente se resaltó las características, los beneficios y las ventajas de los servicios de la nube.

- **Analizar la viabilidad de una línea de negocio entre el operador de red, empresa y el usuario final, mediante sus preferencias y la demanda energética.**

Se realizó el análisis de viabilidad de la línea de negocio de los servicios contextuales desde el punto de vista motivacional hacia su implementación partiendo de los avances establecidos por empresas proveedoras de software como VENTYX e IBM y una de las empresas gestoras de la iniciativa GREEN BUTTON como PG&E en el desarrollo de servicios que satisfagan las necesidades del usuario y le ayuden a reducir su demanda energética por medio de acompañamiento y supervisión constante para el ahorro en el consumo, control en la facturación por causa de la integración del vehículo eléctrico, diversificación de planes tarifarios en tiempo real, etc. Además se estudió los beneficios de las empresas proveedoras de servicios públicos y terceros con dicha iniciativa. También se tuvo en cuenta las barreras a nivel técnico, regulatorio y social que presenta el desarrollo de proyectos de redes inteligentes y que obviamente repercuten negativamente en la implementación de servicios. Y finalmente se referenció dos propuestas de modelo de negocio para las empresas de la industria eléctrica que desarrollen servicios a partir de la red inteligente.

- **Conceptualizar la funcionalidad de dichos servicios contextuales en un contexto regional partiendo de proyectos propuestos en otras ciudades del mundo.**

Se analizó de una manera conceptual la implementación de servicios contextuales por medio de la iniciativa del Green Button en diferentes ciudades del mundo, logrando extraer conceptos básicos y de carácter aplicativo hacia la implementación de una futura red eléctrica en el contexto regional basada en la

medición avanzada inteligente y con múltiples beneficios de tipo energético y no energético para los usuarios finales, operadores de red y proveedores de servicios.

De manera general podemos concluir que el estudio de la capacidad de los servicios contextuales de la red eléctrica residencial ayuda a crear una perspectiva de favorabilidad en cuanto a beneficios y desarrollo económico pese a las múltiples barreras que surgen con relación a su implementación. No obstante el análisis de las iniciativas y desarrollos tecnológicos que se realicen en otros países permiten establecer bases para desplegar futuros proyectos en este campo.

8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos de implementación de servicios contextuales se sugiere seguir las siguientes recomendaciones:

Se recomienda el trabajo en conjunto entre las entidades gubernamentales, sectores privados y grupos normativos internacionales con el fin de conformar grupos que evalúen las condiciones actuales de estandarización y elaboren planes para eliminar estas barreras políticas y regulatorias que impiden en gran medida la inversión de capital de las empresas.

Crear políticas y campañas que promuevan la concienciación de la población con antelación a la implementación de los proyectos, ya que sin usuarios “inteligentes” no se puede implementar servicios inteligentes.

Definir lineamientos técnicos y tecnológicos para lograr crear un modelo que sea eficaz, eficiente y fácil de entender tanto para los usuarios finales, como para el operador de red y que permita a su vez un cómodo acceso a los diferentes tipos de datos sin que ocurran colapsos o contingencias.

Los modelos implementados a nivel internacional, en el caso de Estados Unidos y de la India permiten abrir el camino para una futura implementación en un contexto regional, es importante tener en cuenta que dichos modelos son basados en parámetros propios de cada región, por lo tanto en Colombia se deben definir cuáles son los parámetros que influyen en el momento de realizar el proyecto y de qué forma se abordarían.

Ante la implementación de la medición inteligente avanzada en Colombia, se requiere que cada usuario residencial se involucre de una manera responsable y con disposición a entender el funcionamiento de esta iniciativa para lograr un uso racional de la energía y ayudar al desarrollo del país.

La actual ley 1715 de 2014 regula la integración de energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo anterior permite un avance significativo en el campo de las redes inteligentes, pero no es suficiente, se requiere un marco normativo que investigue y desarrolle nuevas normas para incentivar la implementación de proyectos sobre los servicios contextuales.

El operador de red cumple un papel fundamental en el desarrollo de los servicios contextuales, fruto de la interoperabilidad con el consumidor final se creería que el operador sería el menos beneficiado ya que el cliente tendría tarifas en tiempo real, perfiles de carga, resumen de energía consumida y muchos más parámetros los cuales permitirían mejorar considerablemente el uso de energía en cada uno de los hogares, sin embargo existen varios beneficios que obtendría el operador de red, por ejemplo:

- Al lograr que el consumidor final autorice la transferencia de los datos obtenidos en el medidor inteligente para cederlos a desarrolladores de aplicaciones y a terceros los cuales realizan un aporte económico al operador.
- Al definir una tarifa mínima extra mensual para cada uno de los usuarios, con el fin proveerles información clara para obtener un ahorro energético en los hogares, se generaría un incremento monetario a favor de los operadores de red y una reducción en el consumo de tarifas por parte de los usuarios residenciales.
- El operador tendría la información oportuna de los consumos de energía por parte de los usuarios en tiempo real, lo cual permitiría, realizar reducciones de energía a aquellos clientes que no se encuentren con carga, para lograr suplir energía necesaria a sitios de gran importancia como hospitales, industrias, etc., y así mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.

La viabilidad de negocio entre el consumidor final y el desarrollador de aplicaciones conduce al bienestar y al confort de los usuarios, ya que estos últimos al autorizar la transferencia de datos reciben servicios y aplicaciones dinámicos enfocados a los electrodomésticos inteligentes.

La implementación de los servicios contextuales en un contexto regional no solamente involucra aspectos eléctricos, sino que dicha aplicación ofrece servicios enfocados a diferentes tipos de áreas como por ejemplo a las actividades de la vida diaria (ADL), por lo tanto esta iniciativa puede ser complemento a proyectos piloto en el sector de la domótica.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Informe Ejecutivo (versión liquidación TXR) de Agosto de 2014 [En línea]. Medellín, Colombia: XM filial de ISA, septiembre 2014-[citado el 15 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/Ejecutivo_mes_AGOSTO_2014.pdf

[2] CASELLAS, F.; VELASCO, G.; GUINJOAN, F.; PIQUÉ, R. El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica. Departament d'Enginyeria Electrónica (DEE) y Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). España. 2010.

[3] Technology Roadmap Smart Grids [En línea]. París, Francia: The International Energy Agency (IEA), 2011-[citado el 16 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf

[4] <http://www.nist.gov/smartgrid/faq.cfm> Consultado el 8 de agosto de 2014.

[5] INGA, E. Redes de comunicación en Smart Grid. INGENIUS. Mayo, 2012, no. 7., p. 36-55.

[6] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. Smart Grids y la evolución de la red eléctrica. España. 2011. p. 1-82.

[7] <http://www.iec.ch/smartgrid/background/explained.htm> Consultado el 10 de agosto de 2014.

[8] FANG, X, Student Member, IEEE; MISRA, S, Member, IEEE; XUE, G, Fellow, IEEE; YANG, D, Student Member, IEEE. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications survey and tutorials. Vol. 14., No. 4., 2012. p. 944-980.

[9] DÍAZ, C.; HERNÁNDEZ, J. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. Revista S&T. Vol. 9., No. 18., septiembre, 2011. p. 53-81.

[10] SELVAM, C.; SRINIVAS, K; AYYAPPAN, G.S.; VENKATACHALA, M. Advanced Metering Infraestructure for Smart Grid Applications. Central Scientific Instruments Organisation (CSIR), IEEE, India. 2012. p. 145-150.

[11] The Smart Grid: An Introduction [En línea]. USA.: Litios Strategic Communication. U.S. Departament of Energy-[citado el 26 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf

[12] <http://www.selinc.com/PMUs> Consultado el 12 de septiembre de 2014.

[13] ZAPATA, D. F. Definición de componentes tecnológicos de una Micro – red inteligente. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierias Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2014.

[14] FOSSATI, J. P. Literature review of microgrids, vol 9, 2011.

[15] GUNGOR, V.C., Member, IEEE; LU, B., Senior Member, IEEE; HANCKE, G.P., Senior Member, IEEE. Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 57., No. 10., octubre, 2010. p. 3557-3564.

[16] SAUTER, T., Senior Member, IEEE; LOBASHOV, M. End – to – End Communication Architecture for Smart Grids. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 58., No. 4., abril, 2011. p. 1218-1228.

[17] GUNGOR, V.C., Member, IEEE; SAHIN, D; KOCAK, T; ERGUT, S; BUCCELLA, C., Senior Member, IEEE; CECATI, C., Fellow, IEEE; HANCKE, G.P.,

Senior Member, IEEE. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 7., No. 4., noviembre, 2011. p. 529-539.

[18] MOSLEHI, K., Member, IEEE; KUMAR, R., Senior Member, IEEE. Smart Grid – A Reliability Perspective. IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Washington, D.C., enero, 2010. p. 1-8.

[19] GUNGOR, V.C., Member, IEEE; HANCKE, G.P., Senior Member, IEEE. Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 56., No. 10., octubre, 2009. p. 4258-4265.

[20] LUAN, W., Senior Member, IEEE; SHARP, D., Member, IEEE; LANCASHIRE, S., Member, IEEE. Smart Grid Communication Network Capacity Planning for Power Utilities. IEEE. 2010. p. 1-4.

[21] COPAS, E.F.; LIZONDO, P.P.; SAVOY, M.E. Wireless Mesh Networks: Estudio, Diseño y Aplicaciones. Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional.

[22] LEWIS, P. R.; IGIC, P.; ZHOU, Z. Assessment of Communication Methods for Smart Electricity Metering in the U.K. Electronic Systems Design Centre, School of Engineering. Swansea University. Wales. p. 1-4.

[23] SÁNCHEZ, H.F.; OVIEDO, A.M. Revisión de tecnologías de comunicación en redes de sensores inalámbricos aplicadas en Smart Grids. Trabajo de grado Especialista en Telecomunicaciones. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2012.

- [24] LU, K.; QIAN, Y.; CHEN, H. A Secure and Service – Oriented Network Control Framework for WiMAX Networks. IEEE Communications Magazine. Mayo, 2007. p. 124-130.
- [25] CANTO, H.; RIVAMAR, A.G.; SOTO, J. P. IEEE 802.16 WMAN / WiMAX. Trabajo de grado Maestria en Teleinfoemática. Universidad de Mendoza. Junio, 2006.
- [26] Principios de las fibras ópticas [En línea]. GYCOM especialistas en fibra óptica-[citado el 14 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/vistazo-tecnologia>
- [27] PARUCHURI, V.; DURRESI, A.; RAMESH, M. Securing Powerline Communications. IEEE. 2008. p. 64-69.
- [28] PORRAS, E. A.; CAMARGO, J. L. Análisis e implementación de la tecnología PLC (Power Line Communications) para el control de cargas eléctricas no críticas. Trabajo de grado Ingeniero Electronico. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierias Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2013.
- [29] Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Assessment of Demand Response and Advanced Metering. Whashington, D.C., Diciembre, 2008.
- [30] CORREA, D. F.; BECERRA, B. J.; ARAQUE, G. P. Smart Metering: Estado del arte de aplicaciones al sector eléctrico. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierias Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2013.
- [31] ALBARADO, J. M. Servicios de medición avanzada para redes inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la legislación ecuatoriana. Tesis de Maestria

Sistemas Eléctricos de Potencia. Cuenca, Ecuador.: Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería, Julio, 2011.

[32] GÓMEZ, W.; ARCHILA, G. A. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2012.

[33] KARNOUSKOS, S. Smart Houses in the Smart Grid and the Search for Value – added Services in the Cloud of Things Era. SAP Research. IEEE. Karlsruhe, Alemania, 2013.

[34] ACERO, L. J.; FONSECA, C. M. Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electronico. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2013.

[35] PAUNESCU, C. I.; ZABAVA, T.; TOMA, L.; BULAC, C.; EREMIA, M. Hardware Home Energy Management System for Monitoring the Quality of Energy Service at Small Consumers. Univerity Politehnica of Bucharest. Departament of Electrical Power Systems. Bucharest, Rumania, 2014.

[36] BOUHAFS, F.; MACKAY, M.; MERABTI, M. Links to the Future. IEEE power and energy magazine. Enero, 2012. p. 24-32.

[37] BOAL, J. Smart Grid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia Comillas., mayo, 2010. p. 1-22.

- [38] Smart Energy Profile (SEP) 2.0 Uncovered [En línea]. Saksena, M. 2011- [citado el 25 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279156
- [39] <http://www.zigbee.org/Standards/ZigBeeSmartEnergy/FAQ.aspx>. Consultado el 25 de septiembre, 2014.
- [40] INOURE, M., Senior Member, IEEE; HIGUMA, T.; ITO, Y.; KUSHIRO, N.; KUBOTA, H. Network Architecture for Home Energy Management System. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 49., No. 3., agosto, 2003. p. 606-613.
- [41] RIBONI, D.; PARESCHI, L.; RADAELLI, L.; BETTINI, C. Is Ontology – based Activity Recognition Really Effective?. 8th IEEE Workshop on Context Modeling and Reasoning. Universidad de Milán. Milán, Italia, 2011. p. 427-431.
- [42] MENESES, C.; ZAMBRANO, J. Estado del arte de los algoritmos de logica adaptativa de las actividades humanas en el enfoque de las redes inteligentes. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierias Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2011.
- [43] OH, D. E.; CHOI, S. H.; KIM, Y. J.; YANG, I. K. Consumer Energy Information Exchange for the Smart Grid Service. 8th International Conference on Power Electronics – ECCE Asia. Isla de Jeju, Korea, mayo, 2011. p. 1211-1218.
- [44] MCHANN, S. E., Member, IEEE. Grid Analytics: How Much Data Do You Really Need?. IEEE. Buffalo, USA. Abril, 2013. p. C3-1-C3-4.
- [45] CHO, H. S.; YAMAZAKI, T., Member, IEEE; HAHN, M. AERO: Extraction of user's activities from Electric Power Consumption Data. IEEE, septiembre, 2010.
- [46] LI, Z.; ZHENG, J.; YANG, F.; DAGNINO, A.; ZINDLER, M.; FOX, C. Unified AMI Information Models to Support Diversified Smart Grid Systems and

Applications. ABB US Corporate Research Center y ABB / Ventyx Retail Operation Department. IEEE SmartGridComm symposium, 2013.

[47] Modeling a Green Energy Challenge after a Blue Button [En línea]. Chopra, A., USA-[citado el 30 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.whitehouse.gov/blog/2011/09/15/modeling-green-energy-challenge-after-blue-button>.

[48] <http://www.nist.gov/smartgrid/sgipbuffer.cfm>. Consultado el 30 de septiembre de 2014.

[49] The National Institute of Standards and Technology (NIST). Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0. NIST Special Publication 1108R2. Febrero, 2012.

[50] Green Button Developer [En línea]. OpenEI. USA-[citado el 24 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://en.openei.org/wiki/Green_Button_Developer#Energy_Services_Provider_Interface_ESPI.

[51] <https://github.com/energyos/OpenESPI-wiki/wiki/About-Open-ESPI>. Consultado el 25 de septiembre de 2014.

[52] BALIJEPALI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Department of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013.

[53] Green Button Initiative Artifacts Page [En línea]. The National Institute of Standards and Technology (NIST). Febrero, 2013-[citado el 22 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#From_W3C_Standards_ESPI_To_Green.

- [54] Green Button [En línea]. OpenEI. USA-[citado el 26 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: http://en.openei.org/wiki/Green_Button.
- [55]http://en.openei.org/wiki/Green_Button_Developer#NIST_Smart_Grid_Collaboration_Wiki. Consultado el 2 de octubre de 2014.
- [56] <http://www.w3.org/standards/xml/core>. Consultado el 18 de septiembre de 2014.
- [57] DECONINCK, G.; DECROIX, B. Smart Metering Tariff Schemes Combined with Distributed Energy Resources. Universidad Católica de Lovaina. Bélgica.
- [58] LEE, J. Y.; KIM, M. K.; LA, H. J.; KIM, S. D. A Software Framework for Enabling Smart Services. 12th IEEE International Conference Computer Advanced Information Management. Soongsil University. Seoul, Korea. Diciembre, 2012. p. 1-8.
- [59] YUAN, C. J.; YOU, S. D.; TSAI, D. R. A Calendar Oriented Service for Smart Home. Department of Computer Science and Information Engineering, National Taipei University of Technology & Department of Geology, Chinese Culture University. Taipei, Taiwan, 2010. p. 151-156.
- [60] HAN, D. M.; LIM, J. H., Member, IEEE. Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee. IEEE Transactions on Consumer Electronics. Vol. 56. No. 3, agosto, 2010. p. 1417-1425.
- [61] COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S.; GARLAN, D. Context is Key. Communications of the ACM. Vol. 48. No. 3, Marzo, 2005.
- [62] RICQUEBOURG, V.; MENGA, D.; MARHIC, B.; DELAHOUCHE, L.; DURAND, D.; LÓGE, C. Service Oriented Architecture for Context Perception Based on Heterogeneous Sensors Network. IEEE. 2006. p. 4557-4562.

- [63] SAVIO, D.; KARLIK, L.; KARNOUSKOS, S. Predicting energy measurements of service – enable devices in the future Smart Grid. 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE. 2010. p. 450-455.
- [64] DAFFERIANO, Y. B.; REICHERT, F.; WERNER, R. A SOA – Based eHealth Service Plataform in Smart Home Envieonment. ICT Departament, Faculty of Science and Engineering, University of Agder. 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services. IEEE. 2011. p. 201-204.
- [65] REYES, J. M.; SARKAR, T.; WONG, J. Composition of Services for Notification in Smart Homes. Iowa State University. 2nd International Symposium on Universal Communication. IEEE. 2008. p. 75-78.
- [66] AGUILAR, A.; SÁNCHEZ, G. Reflexiones sobre la implementación de redes inteligentes en el MEM – Informe No. 72. Comité de seguimiento del mercado mayorista de energía eléctrica. Superintendencia de servicios públicos. Bogotá, Colombia. Agosto, 2012.
- [67] COLOMBIA INTELIGENTE, Avances de las Redes Inteligentes. 3rd Seminario de Eficiencia Energética en Servicios Públicos. Bogotá, Colombia. Febrero, 2013.
- [68] ABB y Ventyx en el centro de excelencia de Smart Grid [En línea]. Ventyx Company-[citado el 3 de octubre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ventyx.com/es/resources/type/demos/video-abb-smartgrid>.
- [69] Soluciones para los Servicio Públicos Integrados Verticalmente [En línea]. Ventyx Company-[citado el 29 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ventyx.com/es/solutions/utilities/vertically-integrated-utilities>.
- [70]http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smart_grid/nextsteps/solution/C091561H69407P26.html. Consultado el 30 de septiembre de 2014.
- [71]<http://www.pge.com/myhome/addservices/moreservices/greenbutton/>. Consultado el 30 de septiembre de 2014.

[72] JIMÉNEZ, M. Estudio de Viabilidad de Implementación de Tecnologías Smart Grids en el Mercado Eléctrico Colombiano. Trabajo de grado Ingeniera Industrial. Medellín, Colombia.: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela de Ingenierías, 2013.

[73] PENNER, P. F. Smart Power: Climate Change, the Smart Grid and the future of Electric Utilities. 1st Ed. Island Pr. 2010. 327 p. ISBN 978-1597267069.

[74] <http://www.sgiclearinghouse.org/>. Consultado el 30 de septiembre de 2014.

[75] Expanded Green Button Will Research Federal Agencies and More American Energy Consumers [En línea]. Sinai, N.; Theall, M. 2013-[citado el 23 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.whitehouse.gov/blog/2013/12/05/expanded-green-button-will-reach-federal-agencies-and-more-american-energy-consumers>

[76] <http://www.emeter.com/smart-grid-watch/2012/texas-soon-to-go-live-with-green-button/>. Consultado el 28 de septiembre de 2014.

[77] Green Button Gives Millions of Consumers Access to Electricity Usage Information [En línea]. U.S. Department of Energy-[citado el 3 de octubre, 2014]. Disponible en Internet: https://www.smartgrid.gov/federal_initiatives/featured_initiatives/green_button_gives_millions_consumers_access_electricity_usage_information

[78] ZULUAGA, S.; ESCOBAR, P.; RENDÓN, C.; CORREA, E. D.; BETANCOURT, C.; RAMÍREZ, C. Colombia Inteligente. Contextualización para la definición del plan de comunicaciones iniciativa Colombia Inteligente. Comisión de Integración Energética Regional (CIER). Medellín, Colombia. Septiembre, 2011.

[79] Grupo Operativo, Colombia Inteligente. ICONTEC apoya trabajos de estandarización con Colombia Inteligente. Medellín, Colombia. Octubre, 2012.

[80]<http://www.cidet.org.co/corporativo/noticias/que-son-smart-grids-y-su-influencia-en-colombia-y-el-mundo>. Consultado el 5 de octubre de 2014.

[81]<http://www.cidet.org.co/corporativo/noticias/redes-que-generan-valor-al-sistema-electrico-colombiano>. Consultado el 5 de octubre de 2014.

[82] EMCALI. Información Empresa Municipal de Cali E.S.P. 2013.

[83] ÁLVAREZ, C. A.; SERNA, F. J. Normatividad sobre Redes Inteligentes. Unidad de Inteligencia Estratégica Tecnológica – CIDET. Medellín, Colombia. Noviembre, 2012. p. 1-11.

[84] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715. (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Eléctrico Nacional. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2014. No. 49150. p. 1-25.

[85] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697. (3, octubre, 2001). Por medio de la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

BIBLIOGRAFÍA

ABB y VENTYX en el centro de excelencia de Smart Grid [En línea]. Ventyx Company-[citado el 3 de octubre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ventyx.com/es/resources/type/demos/video-abb-smartgrid>.

ACERO, L. J.; FONSECA, C. M. Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electronico. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierias Fisico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2013.

BALIJEPAI, M. V. S. K. Green Button Standards for India. GB Panel Chairman: S. A. Khaparde. Indian Institute of Technology Bombay. Departament of Electrical Engineering. Bombay, Mayo, 2013.

COLOMBIA INTELIGENTE, Avances de las Redes Inteligentes. 3rd Seminario de Eficiencia Energética en Servicios Públicos. Bogotá, Colombia. Febrero, 2013.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715. (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Eléctrico Nacional. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2014. No. 49150. p. 1-25.

CORREA, D. F.; BECERRA, B. J.; ARAQUE, G. P. Smart Metering: Estado del arte de aplicaciones al sector eléctrico. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2013.

FANG, X, Student Member, IEEE; MISRA, S, Member, IEEE; XUE, G, Fellow, IEEE; YANG, D, Student Member, IEEE. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications survey and tutorials. Vol. 14., No. 4., 2012. p. 944-980.

GÓMEZ, W.; ARCHILA, G. A. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2012.

GREEN BUTTON INITIATIVE ARTIFACTS PAGE [En línea]. The National Institute of Standards and Technology (NIST). Febrero, 2013-[citado el 22 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: [http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#From W3C Standards ESPI To Green](http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/GreenButtonInitiative#From_W3C_Standards_ESPI_To_Green).

GUNGOR, V.C., Member, IEEE; SAHIN, D; KOCAK, T; ERGUT, S; BUCCELLA, C., Senior Member, IEEE; CECATI, C., Fellow, IEEE; HANCKE, G.P., Senior

Member, IEEE. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 7., No. 4., noviembre, 2011. p. 529-539.

JIMÉNEZ, M. Estudio de Viabilidad de Implementación de Tecnologías Smart Grids en el Mercado Eléctrico Colombiano. Trabajo de grado Ingeniera Industrial. Medellín, Colombia.: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela de Ingenierías, 2013.

LEE, J. Y.; KIM, M. K.; LA, H. J.; KIM, S. D. A Software Framework for Enabling Smart Services. 12th IEEE International Conference Computer Advanced Information Management. Soongsil University. Seoul, Korea. Diciembre, 2012. p. 1-8.

PÉREZ, V. E. Estudio preliminar sobre la viabilidad de la implementación de medidores inteligentes de energía en los estratos 1, 2 y 3 de Cali. Trabajo de grado Ingeniera Electricista. Santiago de Cali, Colombia.: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2013.

Soluciones para los Servicio Públicos Integrados Verticalmente [En línea]. VENTYX COMPANY-[citado el 29 de septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ventyx.com/es/solutions/utilities/vertically-integrated-utilities>.

YUAN, C. J.; YOU, S. D.; TSAI, D. R. A Calendar Oriented Service for Smart Home. Department of Computer Science and Information Engineering, National

Taipei University of Technology & Department of Geology, Chinese Culture University. Taipei, Taiwan, 2010. p. 151-156.